

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA
RECINTO UNIVERSITARIO “RUBEN DARIO”
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN
INGENIERIA CIVIL**

MONOGRAFIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL.

**COMPARACION TECNICO-ECONOMICA DEL USO DE PAVIMENTO
RIGIDO Y PAVIMENTO FLEXIBLE EN NICARAGUA.
ESTUDIO DE CASO: TRAMO UNIKWAS-MULUKUKU.**



AUTORES: BR. MARLON NOEL RUIZ URRUTIA.

BR. JULIO CESAR RODRIGUEZ PERALTA.

TUTOR: MSC. EVERT LOPEZ AGUIRRE.

MANAGUA, NICARAGUA FEBRERO 2016.

Hoja de Aprobación

Esta Monografía fue aceptada por la comisión del programa de estudios de graduación de la facultad de ciencias e ingeniería en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Presidente del Tribunal

Secretario del Tribunal

Vocal

Managua, Nicaragua 09 de Diciembre del 2015.

Dr. Ing. Víctor Tirado.
Director del Departamento de Construcción.
Facultad de Ciencias e Ingenierías (UNAN-Managua).

Estimado Ing. Tirado:

Es de mi agrado informarle que luego de revisar detalladamente la monografía con el título: “Comparación Técnico Económica del Uso de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible en Nicaragua, Estudio de Caso: Tramo de Carretera Unikwas-Mulukuku, Rio Blanco-Siuna” desarrollado por los bachilleres Marlon Noel Ruiz Urrutia y Julio César Rodríguez Peralta, correspondiente a su tesis monográfica realizada en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (Unan-Managua); soy del criterio que la misma reúne los requisitos para ser aceptado y defendido como culminación de sus estudios, por su contenido, alcance, actualidad y nivel técnico científico.

Por lo tanto le solicito programe los jurados y la defensa de la misma cuando lo estime conveniente.

Fraternalmente,

MSC. Evert López Aguirre.
Docente Ing. Civil Unan-Managua.

Managua, Nicaragua 09 de Diciembre del 2015.

Dr. Ing. Víctor Tirado.

Director del Departamento de Construcción.

Facultad de Ciencias e Ingenierías (Unan-Managua).

Estimado Ing. Tirado:

Con el presente proyecto titulado “Comparación Técnico Económica del Uso de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible en Nicaragua, Estudio de Caso: Tramo de Carretera Unikwas-Mulukuku, Rio Blanco-Siuna”, los bachilleres Marlon Noel Ruiz Urrutia y Julio Cesar Rodríguez Peralta culminan el proyecto de graduación para optar al título de Ingeniero Civil que otorga la Facultad de Ciencias e Ingenierías de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (Unan-Managua).

Este trabajo cuenta con 11 capítulos que son: I Aspectos introductorios, II- Condiciones de los pavimentos en Nicaragua, III-Elementos que integran la estructura de pavimentos, IV- Evaluación de los elementos que integran la estructura de pavimento, V- Procedimientos para la construcción de pavimentos Rígido y Flexible, VI- Metodología de diseño de estructuras de pavimento Rígido y pavimento Flexible por la AASHTO 1993, VII-Ensayos requeridos para el diseño de estructuras de pavimento, VIII-Estudio de caso, IX- Mantenimientos, X- Costos y Presupuestos, XI-Comparación Técnico-Económica del uso de pavimento Flexible y Rígido. Cuyo Objetivo General es “Comparar Técnica y Económicamente las alternativas de construcción utilizando pavimento Rígido y Pavimento Flexible”. Los capítulos mencionados se han desarrollado utilizando los conocimientos que los autores adquirieron tanto en el aula de clase como en sus prácticas profesionales.

A lo largo del desarrollo de esta tesis monográfica han mostrado su capacidad de combinar con acierto los análisis económicos que genera esta temática y llegar a conclusiones y recomendaciones acorde al grado de profundización de los profesionales en el análisis correcto de cada una de las alternativas o escenarios propuestos. Por todo lo anterior soy del criterio que los estudiantes deberían optar al título de Ingeniero Civil como parte de la culminación de sus estudios.

Fraternalmente.

MSC. Evert López Aguirre.

Docente ing. Civil UNAN-Managua

Dedicatoria

Por Marlon N. Ruiz Urrutia

Este trabajo te lo dedico a ti DIOS MIO, de no ser por ti hoy no estuviera alcanzando esta etapa de mi vida, tú fuiste mi luz en los días de oscuridad, tú me levantabas cuando caía gracias DIOS.

A mis padres, pero con mucho orgullo en especial a mi madre que privándose de sus goces dio todo de sí para que yo lograra hoy alcanzar esta meta que hace 5 años me propuse hoy siento que este mérito es suyo más que mío gracias mamá.

También dedico este trabajo a Francini Arias M. Te la dedico con mucho amor, a ti que siempre me distes motivación y apoyo para seguir y nunca caer.

A mis hermanos que siempre fueron motivación para no darme por vencido también dedico este trabajo a mi sobrina Keyling A.

Y finalmente quiero dedicar este trabajo a todos aquellos que de alguna manera influyeron en mi formación profesional, y a todos aquellos que alguna vez han pensado que han perdido la batalla hoy les digo que no importa cuántas veces te caigas lo importante es que siempre te levantes recordemos que la fortaleza viene de DIOS.

Por Julio C. Rodríguez Peralta

Dedico primeramente el Presente Trabajo de Graduación, primordialmente a DIOS por medio de su Hijo Amado Jesucristo “Mi Señor y Salvador de mi Alma”, por su Gran Amor, Bendiciones y sus Misericordias que son Nuevas cada Día. Honra y Gloria a tu Nombre DIOS Santo y Verdadero.

Al Señor Jesucristo sin Ti no habría propósito de vivir y todo sería vano, todo te lo debo a Ti. Gloria al DIOS Altísimo. Sin Ti Jesucristo jamás podría haber llegado a este tiempo en mi vida. También te lo dedico a Ti JESUS por sacarme del Fango del Pecado donde me encontraba antes de Venir a Tus Pies. Gracias por Tu Sacrificio Redentor Señor Jesucristo para Expiación de mis Pecados.

También dedico este Trabajo de Graduación a mi Familia “mis seres queridos”, que son los instrumentos que DIOS utilizo para Bendecirme grandemente en mi vida; como lo son mi madre: Anielka Y. Peralta, mi papa: Julio R. Rodríguez, mi abuela: Cándida M. Oporta, mi hermano Carlos A. Rodríguez, mi tía Elda M. Sequeira y mi tío Moisés E. Sequeira, a todos ellos por su apoyo incondicional y aliento necesario para progresar en el estudio.

A todos mis Compañeros de Universidad, los que comenzaron la carrera junto conmigo, así como también los que la culminaron junto conmigo, todos me han sido de ejemplo y de apoyo en la carrera. A la Ing. Kenia Mendoza por su Fraternal Amistad y Apoyo en mis prácticas de campo.

A todo aquel que guste del Conocimiento de la Ingeniería Civil y sus distintas disciplinas.

Cita Bíblica:

Porque Jehová da la sabiduría y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia

RVR1960 Proverbios 2:6

Agradecimientos

Por Marlon N. Ruiz Urrutia y Julio C. Rodríguez Peralta

Agradecemos a Dios en primer lugar por darnos la vida y la fortaleza y por permitirnos llegar a esta etapa de nuestras vidas, por levantarnos cada vez que tropezamos.

Al MSC. Evert López por ser un gran facilitador de conocimientos y orientarnos en el desarrollo de este trabajo, y por el compromiso con que asumió la tutoría, gracias profesor por confiar en nosotros gracias a usted hoy hemos logrado presentar nuestro trabajo monográfico.

Al Ing. Amílcar Aguilar por abrirnos las puertas de su oficina y proporcionarnos información que hoy forma parte de este trabajo.

Al Ing. Elías Uriarte y al ing. Juan Ramón García por ser facilitadores de la información y por el apoyo que nos brindaron cuando recurrimos a ellos y merecen ser mencionados.

Al ingeniero Víctor Tirado, director de la carrera ing. civil, por la motivación que nos brindó cuando impartió la asignatura Investigación aplicada, su metodología fue una herramienta de la cual hicimos uso en la elaboración de este trabajo y porque siempre estuvo dispuesto a apoyarnos.

A todos los profesores que de una u otra forma contribuyeron con nuestra formación profesional sea dentro o fuera del aula de clases, por haber sido grandes facilitadores del conocimiento y por quienes hoy podemos estar aquí.

Tabla de contenido

| | |
|------------------------------------------------------|-------|
| Dedicatoria | II |
| Agradecimientos..... | IV |
| Tabla de contenido..... | V |
| Listado de figuras | IX |
| Listado de tablas | XI |
| Resumen..... | XVI |
| Definiciones generales acerca de las carreteras..... | XVIII |

Índice de Contenido

| | |
|------------------------------------------------------------|----|
| 1-Aspectos Introdutorios..... | 1 |
| 1-1 Introducción | 1 |
| 1-2 Antecedentes..... | 3 |
| 1-3 Justificación | 4 |
| 1-4 Objetivos..... | 6 |
| 1-4-1 Objetivo General:..... | 6 |
| 1-4-2 Objetivos Específicos: | 6 |
| 1-5 Metodología de trabajo | 7 |
| 2 Condiciones de los pavimentos en Nicaragua..... | 8 |
| 2-1 Generalidades..... | 8 |
| 2-2 Diseños utilizados en Nicaragua..... | 12 |
| 2-3 Seguimiento y control de las carreteras..... | 13 |
| 2-4 Condiciones climatológicas..... | 14 |
| 2-5 Situación vial..... | 15 |
| 3. Elementos que integran la estructura de pavimento | 16 |
| 3-1 Elementos que integran el Pavimento flexible | 16 |
| 3-1-1 Superficie de rodadura o carpeta de rodamiento | 17 |
| 3-1-2 Base | 17 |
| 3-1-3 Sub-base | 17 |
| 3-1-4 Sub-rasante..... | 18 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3-2 Elementos que integran la estructura de pavimento Rígido..... | 21 |
| 3-2-1 Superficie de rodadura | 21 |
| 3-2-2 Base: | 22 |
| 3-2-3 Sub-rasante:..... | 22 |
| 4. Evaluación de los elementos que integran la estructura de pavimento..... | 23 |
| 4-1 Evaluación de la Sub-rasante. | 23 |
| 4-1-1 Material para Sub-rasante. | 23 |
| 4-1-2 Ensayo de Valor Soporte California (CBR)..... | 25 |
| 4-1-3 Módulo Resiliente (Mr) | 27 |
| 4-2 Evaluación de la sub-base..... | 29 |
| 4-3 Evaluación de la base..... | 30 |
| 4-3-1 Bases Granulares..... | 31 |
| 4-3-2 Estabilización de Bases..... | 32 |
| 5. Procedimientos para la construcción de pavimento flexible Y pavimento rígido. | 40 |
| 5-1 Procedimientos constructivos del pavimento flexible..... | 40 |
| 5-1-1 Diseño de las mezclas asfálticas..... | 40 |
| 5-2 Procedimientos constructivos del pavimento rígido | 48 |
| 5-2-1 Diseño de mezclas de concreto hidráulico | 48 |
| 5-2-2 Mezclado del concreto..... | 57 |
| 6. Metodología de diseño de estructuras de Pavimento Flexible y Pavimento Rígido por la AASHTO 1993. | 69 |
| 6-1 Diseño de Estructura de Pavimento Flexible. | 70 |
| 6-1-1 Variables de diseño | 70 |
| 6-2 Diseño de Estructura de Pavimento Rígido | 86 |
| 6-2-1 Variables de diseño | 87 |
| 7. Ensayos requeridos para el diseño de una estructura de pavimento. | 96 |
| 7-1 Ensayos de Suelos. | 96 |
| 7-1-1 Ensayo granulometrico..... | 96 |
| 7-1-2 Ensayo del contenido de humedad. | 98 |
| 7-1-3 Ensayo de los Limites de Atterberg..... | 99 |
| 7-1-4 Ensayo Proctor..... | 101 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7-1-5 Ensayo del Valor Soporte California (CBR)..... | 107 |
| 7-1-6 Ensayo del Modulo de Reaccion (Placa de Carga). | 109 |
| 7-1-7 Ensayo del Modulo Resiliente. | 110 |
| 7-1-8 Ensayo de Desgaste Mediante la Máquina de los Ángeles..... | 119 |
| 7-2 Ensayos del Concreto Asfaltico. | 119 |
| 7-2-1 Muestreo de mezclas asfálticas..... | 119 |
| 7-2-2 Ensayo del contenido de ligante de mezclas asfálticas por centrifugas | 121 |
| 7-3 Ensayos realizados al Concreto Hidráulico..... | 123 |
| 7-3-1 Ensayo de Resistencia a la Compresión. | 123 |
| 7-3-2 Ensayo de Resistencia a la Flexión..... | 124 |
| 8. Estudio de Caso. | 126 |
| 8-1 Aspectos generales del proyecto en estudio | 126 |
| 8-2 Diseño de espesores de pavimento rígido y flexible para el proyecto Unikwas-Mulukuku..... | 131 |
| 8-2-1 Consideraciones para el diseño..... | 132 |
| 8-2-2 Calculo de los Espesores de la estructura de pavimento rígido. | 140 |
| 8-2-3 Diseño de alternativas para el pavimento rígido..... | 141 |
| 8-3 Diseño de la estructura de pavimento flexible utilizando la guía de la AASHTO 1993. | 146 |
| 8-3-1 Consideraciones para el diseño | 146 |
| 8-3-2 Diseño el espesor total de la estructura de pavimento flexible por medio del Cálculo del nuero estructural | 150 |
| 9. Mantenimientos requeridos por los pavimentos rígido y flexible. | 157 |
| 9-1 Mantenimientos requeridos por el pavimento flexible | 157 |
| 9-1-1 Mantenimiento rutinario | 157 |
| 9-1-2 Principales fallas del pavimento flexible. | 158 |
| 9-1-3 Tratamientos de rehabilitación para el pavimento flexible | 160 |
| 9-1-4 Mantenimiento periódicos de rehabilitación del pavimento flexible. | 161 |
| 9-2 Tratamientos de rehabilitación para pavimento rígido | 163 |
| 9-2-1 Efectos del mantenimiento y la rehabilitación..... | 167 |
| 9-3 Costos de construcción y mantenimiento | 171 |
| 9-3-1 Costos por mantenimientos del pavimento flexible..... | 173 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9-3-2 Costos por mantenimiento rutinario del pavimento rígido..... | 174 |
| 10. Costos y presupuestos..... | 185 |
| 11. Análisis técnico-económico del uso de pavimento rígido y pavimento flexible | 207 |
| 11-1 Análisis técnico comparativo..... | 207 |
| 11-2 Análisis económico comparativo..... | 214 |
| 12. Análisis de resultados..... | 230 |
| 13. Conclusiones y Recomendaciones. | 232 |
| 13.1 Conclusiones..... | 232 |
| 13.2 Recomendaciones. | 234 |
| 13-2-1 Recomendación Económica..... | 234 |
| 13-2-2 Recomendaciones Técnicas. | 234 |
| 13-2-3 Recomendaciones constructivas para pavimento flexible | 234 |
| 13-2-4 Recomendaciones constructivas para pavimento rígido | 235 |
| 13-2-5 Recomendaciones para mitigar impactos ambientales en la construcción de carreteras..... | 239 |
| 14. Bibliografía | 243 |
| Trabajos citados | 243 |
| 15. ANEXOS | 245 |
| Anexo 1 Factores de transportes de Managua a los depto. Del país | 245 |
| Anexo 2. Tablas de costos | 252 |
| Anexo 3. Factores equivalentes de cargas para pavimento rígido. | 259 |
| Anexo 4. Factores equivalentes de cargas para pavimento flexible..... | 274 |
| Anexo 5. Métodos para el cálculo del módulo de Resiliencia de sub-rasante del pavimento flexible..... | 289 |
| Anexos 8 Ensayos de suelo a lo largo de la carretera Unikwas-Mulukuku | 297 |
| Anexos 8-1 Sondeos en el centro y lados de la carretera a partir de la estación 3+000 y la estación 6+000 | 297 |
| Anexo 9 -Levantamiento Topográfico..... | 301 |

Listado de figuras

Capítulo III - Elementos que Integran la Estructura de Pavimento.

Figura 3-1 – Elementos que Conforman la Estructura de Pavimento.

Capítulo V. Procedimientos para la construcción de pavimento Flexible y pavimento Rígido.

Figura 5-1 Construcción de juntas.

Figura 5-2 Cortadora de concreto.

Figura 5-3 Sellador de juntas.

Capítulo VI – Metodología de Diseño para Estructuras de Pavimento Flexible y Pavimento Rígido por la AASHTO 1993.

Figura 6-1 – Procedimientos para Determinar el Espesor de la Estructura de Pavimento Flexible.

Capítulo VII-Ensayos Requeridos para el Diseño de una Estructura de Pavimento.

Figura 7-1 – Curva de Distribución Granulométrica.

Figura 7-2 – Curva de Flujo para la Determinación del Limite Liquido.

Figura 7-3 – Definición del Límite de Contracción.

Figura 7-4- Diferentes tipos de curvas encontradas en los suelos

Figura 7-5 – Curva de Penetración por Distintos tipos de suelos.

Figura 7-6 – Grafica para determinar el CBR.

Figura 7-7 – Abaco para estimar el Modulo Resiliente Efectivo.

Figura 7-8 – Modulo de Reacción o Coeficiente de Balasto (K).

Figura 7-9 – Diagrama Granulométrico Semilogaritmico para Áridos.

Capítulo VIII – Estudio de Caso.

Figura 8-1- Inicio del proyecto Unikwas-Mulukuku

Figura 8-2 – Macro y Micro localización del Proyecto UNIKWAS-MULUKUKU.

Figura 8-3 Sitios de pegadero estación 0+600 a la 0+900

Figura 8-4 Final del proyecto puente Mulukuku

Figura 8-5 – Modulo de Reacción “K” combinado (valor seasonal).

Figura 8-6 – Estructura de Pavimento Rígido con base Granular.

Figura 8-7 Cálculos del MR de las capas de base y sub-base de las alternativas de diseño.

Figura 8-8 Sección transversal para la carretera Unikwas-Mulukuku.

Figura 8-9-Planta típica de pavimento de concreto de losas cortas en zona rural.

Figura 8-10 Planta típica de pavimento de concreto de losas cortas en zona urbana.

Figura 8-11 Cálculos del MR a partir del CBR de cada capa.

Figura 8-12 – Estructura de Pavimento Flexible con Base Granular.

Figura 8-13–Estructura de Pavimento Flexible utilizando Base Granular estabilizada con cemento portland.

Capítulo IX – Mantenimientos Requeridos por los Pavimentos Flexibles y Rígidos.

Figura 9-1 – Grietas o Piel de Cocodrilo en el Pavimento Flexible.

Figura 9-2 – Bacheo Profundo.

Figura 9-3 – Fresado de Superficie deteriorada del Pavimento Flexible.

Figura 9-4 – Sobrecapa de Concreto Adherido.

Figura 9-5 – Sobrecapa de Concreto no Adherido.

Listado de tablas

Capítulo II – Condiciones de los Pavimentos en Nicaragua.

Tabla 2.1 - Geometría de las Carreteras de Asfalto.

Tabla 2.2 - Geometría de las Carreteras Adoquinadas.

Tabla 2-3 - Geometría de las Carreteras de Concreto Hidráulico.

Tabla 2-4 – Geometría de las Carreteras Revestidas.

Tabla 2-5 – Temperatura de Construcción de Mezclas Asfálticas.

Capitulo III – Elementos que Integran la Estructura de Pavimento.

Tabla 3-1 – Granulometría de Materiales de Sub-base.

Capitulo IV – Evaluación de los Elementos que Integran la Estructura de Pavimento.

Tabla 4-1 – Valores de CBR requeridos según el Transito.

Tabla 4-2 – Modulo de Resiliencia en Función del Clima y la Calidad de Sub-rasante.

Tabla 4-3 - Valores Aproximados de Módulos de Resiliencia según la Estación Climática de la Región.

Tabla 4-4 – Propiedades que deben cumplir las Bases de los Materiales Estabilizados.

Tabla 4-5 – Porcentaje de Cemento para Estabilizar según el Tipo de Material.

Tabla 4-6 – Porcentaje Residual retenido de Cal Hidratada.

Capítulo V – Procedimientos para la Construcción de Pavimento Flexible y Pavimento Rígido.

Tabla 5-1 – Cantidad de Cemento Asfaltico según ASTM D-3515.

Tabla 5-2 – Angularidad del Agregado Grueso.

Tabla 5-3 – Valores de Angularidad del Agregado Fino.

Tabla 5-4 – Requisitos para el Contenido de Arena.

Tabla 5-5 – Espesores de las Capas de Concreto Asfaltico Recomendados.

Tabla 5-6 – Temperatura para la Colocación del Concreto Asfaltico.

Tabla 5-7 – Elección de la Temperatura de Colocación en Función de la Temperatura de la Vía.

Tabla 5-8 – Composición del Concreto de Cemento Portland para Pavimentos según la Resistencia.

Tabla 5-9 – Granulometría para Agregado Fino en Mezclas de Concreto Hidráulico.

Tabla 5-10 – Relación Agua-Cemento y Resistencia a la Compresión.

Tabla 5-11 – Composición del Concreto de Cemento Hidráulico para Pavimentos.

Tabla 5-12 – Temperatura recomendada para la Colocación del Concreto Hidráulico en Clima Frio.

Capítulo VI – Metodología de Diseño para Estructuras de Pavimento Flexible y Pavimento Rígido por la AASHTO 1993.

Tabla 6-1 – Periodos de Diseño recomendados según la Clasificación Funcional de la Carretera.

Tabla 6-2 – Calculo del Factor Camión.

Tabla 6-3 – Limite de Peso por Eje.

Tabla 6-4 – Pesos Máximos permitidos por Tipo de Vehículos.

Tabla 6-5 – Factores de Crecimiento de Transito.

Tabla 6-6 – Factor de Distribución por Dirección.

Tabla 6-7 – Factor de Distribución por Carril.

Tabla 6-8 – Valores de Desviación Normal en Función de la Confiabilidad.

Tabla 6-9 – Índice de Serviciabilidad.

Tabla 6-10 – Espesores Mínimos sugeridos en Función del Trafico.

Tabla 6-11 – Coeficiente de Drenaje.

Tabla 6-12 – Coeficiente de Cargas.

Tabla 6-13 – Perdida de Soporte.

Capitulo VII –Ensayos Requeridos para el Diseño de una Estructura de Pavimento.

Tabla 7-1 – Tamaños Estándares de Tamices.

Tabla 7-2 – Cantidad de Muestra a Ensayar según el Tamaño Máximo de la Partícula.

Tabla 7-3 – Estado de los sólidos.

Tabla 7-4 – Valores de CBR para Capas subyacentes del Pavimento.

Tabla 7-5 – Rango de Valores de “K” y “CBR” para varios tipos de Suelos.

Tabla 7-6 – Tamices para el Análisis Granulométrico de los áridos.

Tabla 7-7 – Pesos Recomendados de las muestras de acuerdo al tamaño de las Partículas del Agregado.

Tabla 7-8 – Tamaño de muestras de Material Bituminoso.

Tabla 7-9 – Tamaño de muestras de Ensayo de Ligante Asfáltico.

Tabla 7-10 – Tamaño de la Muestra de Ensayo de la Densidad de la Mezcla.

Capítulo VIII – Estudio de Caso.

Tabla 8-1 – Valores de CBR obtenidos a lo Largo del Tramo en Estudio (UNIKWAS-MULUKUKU).

Tabla 8-2 – Periodos de Diseño según la Clasificación Funcional.

Tabla 8-3 – Niveles de Confiabilidad en función de la Clasificación Vial.

Tabla 8-4 – Valores de la Desviación Estándar Normal en función de la Confiabilidad.

Tabla 8-5 – Valores para Calcular la Desviación Estándar.

Tabla 8-6 – Modulo de Elasticidad y Coeficiente de Fricción según el Tipo de Base.

Tabla 8-7 – Datos para el Diseño de Espesores del Pavimento Rígido.

Tabla 8-8 – Composición de la Estructura de Pavimento Rígido.

Tabla 8-9 – Composición de la Estructura de Pavimento Rígido con base granular estabilizada con cemento portland.

Tabla 8-10 – Selección de la Calidad del Drenaje.

Tabla 8-11 – Espesores mínimos sugeridos para la Superficie de Rodamiento del Pavimento Flexible en Función del Tránsito.

Tabla 8-12 – Datos para el Diseño de la Estructura de Pavimento Flexible.

Tabla 8-13 – Valor del Módulo de Elasticidad en Función del CBR.

Capítulo IX – Mantenimientos Requeridos por los Pavimentos Flexibles y Rígidos.

Tabla 9.1 – Rangos Típicos de Vida del Servicio para Tratamientos de Rehabilitación de Pavimento Flexible.

Tabla 9-2 – Rangos Típicos de Vida de Servicio por rehabilitación de Pavimento Rígido.

Tabla 9-3 – Tratamiento de Rehabilitación del Pavimento Rígido.

Tabla 9-4 – Obras de Drenaje del Proyecto UNIKWAS-MULUKUKU.

Tabla 9-5 – Cantidades de Obras referentes a Mantenimiento Rutinarios.

Tabla 9-6 – Costos Unitarios por Mantenimiento Rutinarios.

Tabla 9-7 – Costos por Mantenimientos Rutinario Anual para Pavimento Flexible considerando Cantidades de Obra del Proyecto UNIKWAS.

Tabla 9-8 – Costos Unitarios por Mantenimiento Periódico del Pavimento Flexible.

Tabla 9-9 – Costos Unitarios por Tratamientos de Rehabilitación para Pavimento Rígido.

Tabla 9-10 – Costos por Mantenimiento a lo largo del Periodo de Diseño del Pavimento Flexible.

Tabla 9-11 – Costos por Mantenimientos Periódicos del Pavimento Rígido.

Tabla 9-12 – Costos por Mantenimientos Periódicos a lo Largo del Periodo de Diseño del Pavimento Rígido.

Tabla 9-13 – Actividades de Reconstrucción al Finalizar el Periodo de Diseño del Pavimento Rígido.

Tabla 9-14 – Renta Horaria por Equipos de Construcción y Mantenimiento.

Tabla 9-15 – Costos por Operación de Maquinaria.

Tabla 9-16 – Maquinarias sugeridas para el Mantenimiento y Construcción de Pavimento Rígido y Flexible.

Tabla 9-17 – Renta Horaria por Maquinarias requeridas para Movimiento de Tierras y Conformación de Superficie de Subrasante.

Capítulo X – Costos y Presupuestos.

Tabla 10-1 Resumen de costos constructivos por actividades del pavimento rígido utilizando base granular sin tratar.

Tabla 10-2 Resumen de Costo total del pavimento rígido utilizando base granular sin tratar.

Tabla 10-3 Resumen de costos constructivos de alternativa II utilizando base granular estabilizada.

Tabla 10-4 Resumen de costos totales del pavimento rígido utilizando base granular estabilizada.

Tabla 10-5 Costos constructivos del pavimento flexible utilizando base granular sin tratar.

Tabla 10-6 Resumen de costos totales por construcción de pavimento flexible con base granular sin tratar

Tabla 10-7 Resumen de costos por actividades del pavimento flexible utilizando base granular estabilizada con espesor de 20cm.

Tabla 10-8 Resumen de costos totales por construcción de pavimento flexible con base granular estabilizada con cemento portland.

Capítulo XI. Análisis Técnico - Económico

Tabla 11-1 Textura superficial de pavimentos asfálticos

Tabla 11-2-1 Resumen de costos de construcción y mantenimientos para los pavimentos rígidos y flexibles utilizando base granular sin tratar.

Tabla 11-2-2 Resumen de costos de construcción y mantenimientos para los pavimentos rígidos y flexibles utilizando base granular estabilizada y sin tratar.

Tabla 11-2-3 Flujo de costos a lo largo de la vida del pavimento rígido utilizando base granular sin tratar.

Tabla 11-2-4 Flujo de costos a lo largo de la vida del pavimento rígido y flexible utilizando base granular estabilizada.

Tabla 11-2-5 Resumen de rentabilidad financiera en la construcción de pavimentos rígidos y flexibles.

Tabla 11-2-6 Valor Presente Neto (VPN) para pavimento Rígido a los 20 años.

Tabla 11-2-7 Valor Presente (VPN) para pavimento Flexible

Tabla 11-2-8 Comparación de alternativas utilizando el VPN.

Tabla 11-2-9 Comparación de alternativas por medio del índice de costos.

Resumen

El presente trabajo consiste en la comparación técnico-económica de alternativas de construcción de pavimentos rígido (concreto hidráulico simple) y flexible (concreto asfáltico en caliente) en Nicaragua, para este estudio se tomó como muestra el tramo Unikwas-Mulukuku del que se tomaron las cantidades de obras determinadas para ese proyecto, también se abordaron las estrategias de mantenimientos comprendido según el periodo de diseño del pavimento.

Para el análisis de las alternativas basado en el diseño de la estructura de pavimento, Se ha elegido el método AASHTO 1993, porque a diferencia de otros métodos, éste método introduce el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario.

El tema se desarrolla en 11 capítulos distribuidos de la siguiente manera:

Capítulo I: Aspectos introductorios. Este capítulo está referido a la introducción, antecedentes, justificación y objetivos, en los cuales se abordan aspectos que informan al lector del contenido de esta tesis.

Capítulo II: Condiciones de los pavimentos en Nicaragua: en este capítulo se abordan aspectos referidos al estado actual de las carreteras en Nicaragua, la situación vial, el seguimiento y control de las carreteras del país y los diseños utilizados.

Capítulo III: Elementos que integran la estructura de pavimento: en este capítulo se describen los principales elementos constituyentes de la estructura de pavimento, así como las funciones de cada capa.

Capítulo IV: Evaluación de los elementos que integran la estructura de pavimento; En este capítulo se indican los materiales que deben ser usados en cada una de las capas de la estructura del pavimento, también se muestran métodos para la estabilización de suelos de baja capacidad estructural.

Capítulo V: Procedimientos para la construcción de pavimentos flexibles y Rígidos; En este capítulo se abordan los procedimientos y especificaciones para el diseño de las mezclas y construcción así como también, para la preparación de la subrasante, además, se indican los equipos requeridos para la construcción de ambos pavimentos.

Capítulo VI: Metodología de diseño de estructuras de pavimento flexible y pavimento Rígido por la AASHTO 1993; En este capítulo se abordan las variables de diseño requeridas para el diseño de la estructura de pavimentos y de igual forma se indican los parámetros y criterios que se deben cumplir en el diseño.

Capítulo VII: Ensayos requeridos para el diseño de estructuras de pavimento; En este capítulo se abordan los principales ensayos que se requieren realizar en la construcción de obras viales, indicando de forma específica los requeridos para cada tipo de pavimento.

Capítulo VIII: Estudio de Caso; este capítulo consiste en el diseño de los espesores de los elementos de la estructura de pavimento para el proyecto Unikwas-Mulukuku.

Capítulo IX: Mantenimientos

En este capítulo se describen los posibles daños que pueden sufrir los pavimentos, y los posibles tratamientos de rehabilitación, además, se muestran los costos unitarios requeridos por las actividades de mantenimiento, periódico y rutinario.

Capítulo X: Costos y Presupuestos; En este capítulo se detallan los costos requeridos por las actividades de construcción y mantenimientos para cada pavimento.

Capítulo XI: Comparación Técnico - Económica del uso de pavimento Rígido y Flexible. En este capítulo se muestra el análisis técnico comparativo y el análisis económico comparativo entre ambos pavimentos.

Definiciones generales acerca de las carreteras

Carpeta o superficie de rodadura

Es la parte superior de un pavimento ya sea pavimento rígido o flexible destinada a la circulación de los vehículos y peatones.

Carretera calle o camino

Es una vía de circulación tanto vehicular como peatonal que incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de vía, normada por leyes de tránsito que permitan la libre circulación vehicular.

Ancho: el ancho de la sub-corona es la distancia horizontal comprendida entre los puntos de intersección de la sub-corona con los taludes del terraplén, cuneta o corte.

Corona

Es la superficie de la carpeta terminada que queda comprendida entre los hombros de la carretera o sea las aristas superiores de los taludes del terraplén y los interiores de las cunetas. Los elementos que definen la corona son: La rasante la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos.

Rasante

Es la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona de la carretera.

Pendiente transversal

Es la pendiente que se da a la corona normal a su eje, según su relación con los elementos del alineamiento horizontal se presenta tres casos:

Bombeo: es la pendiente que se da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia uno y otro lado de la rasante para evitar la acumulación del agua sobre la carretera.

Sobre elevación: es la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo en las curvas de alineamiento horizontal.

Transición del bombeo a la sobre elevación: son los diferentes procedimientos que se dan en el alineamiento al pasar de una sección en tangente a otra en curva.

Calzada: es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles, se entiende por carril a cualquier subdivisión de la superficie de rodamiento que tenga ancho suficiente para permitir la circulación de una fila de vehículos.

Ancho de calzada en tangente: para determinar el ancho de calzada en tangente debe establecerse el nivel de servicio deseado al final del plazo de previsión o en un determinado año de vida del camino.

Ancho de calzada en curvas del alineamiento horizontal: este sobre ancho se le llama aplicación sobre ancho, la cual debe darse tanto a la calzada como a la corona.

Acotamiento: Son las fajas contiguo a la calzada comprendida entre sus orillas y líneas definidas por los hombros de la carretera

Cunetas: son sistemas de drenaje menor que se construyen en los tramos en corte a uno o ambos lados de la corona contiguas a los hombros con el objeto de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes en corte.

Alcantarilla: cualquier estructura por debajo de la sub-rasante de una carretera u otras obras viales, con el objeto de evacuar las aguas superficiales y profundas.

Curvas horizontales: son aquellas curvas de unión entre las tangentes, que están contenidas en el plano horizontal, su función principal es la de cambiar de una dirección a otra en los tramos rectos es decir, su objetivo principal es suavizar las deflexiones en las alineaciones de los ejes de la carretera, ferrocarriles, canales etc.

Curvas circulares simples: estas están formadas por un solo arco de circunferencia es decir, un segmento de circunferencia que sirve de acuerdo entre dos alineaciones.

Curvas compuestas: estas se forman con la combinación de dos o más arcos de circunferencias uno a continuación del otro.

Curvas verticales: son las que se utilizan para servir de acuerdo entre la rasante de distintas pendientes en los ferrocarriles, carreteras y otros caminos tiene como objetivo suavizar el cambio en el movimiento vertical, es decir que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Las curvas verticales pueden tener su concavidad hacia arriba o hacia abajo, las cóncavas hacia arriba se denominan curvas en columpio y cóncavas hacia abajo se llaman curvas en cresta.

Curvas verticales simétricas: son aquellas que se proyectan simétricamente con respecto al punto de intersección de la pendiente de manera que sean iguales las proyecciones horizontales de las tangentes.

Curvas verticales asimétricas: son aquellas que se proyectan cuando las pendientes de la rasante están determinadas y en una de ellas se encuentra un punto obligado que limita la longitud de una de las ramas de la parábola.

Daños en una carretera: Son desperfectos ocurridos en la superficie de rodadura de una carretera debido a efectos de clima y tránsito.

Deflexión: es el desplazamiento vertical temporal de un pavimento proveniente de la aplicación de cargas de las ruedas de los vehículos.

Derecho de vía: es el área de terreno que el gobierno suministra para ser usada en la construcción de la carretera, sus estructuras, anexos y futuras ampliaciones.

Estabilización de suelos: mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de un suelo mediante procedimientos mecánicos o físicos-químicos.

Hombro (berma): las áreas de la carretera, contiguas y paralelas a la carpeta o superficie de rodadura, que sirven de confinamiento a la capa de base y de zona de estacionamiento accidental de vehículos.

Índice de plasticidad: refleja la diferencia numérica entre el índice plástico del suelo y el límite líquido. Permite medir la capacidad de compresión y la cohesión del suelo.

Límite líquido: indica el contenido de humedad en que el suelo pasa del estado plástico al líquido e indica también si el suelo contiene humedad suficiente para superar la fricción y cohesión interna.

Límite plástico: cuando el suelo pasa de semisólido a plástico porque contiene humedad suficiente se dice que ha traspasado su límite plástico. La resistencia del suelo disminuye rápidamente al aumentar el contenido de humedad más allá del límite plástico.

Límite sólido: Constituye el límite en el cual el suelo pierde su plasticidad por secado y aumenta su fragilidad hasta que las partículas quedan en contacto.

Mantenimiento: conjunto de tareas de limpieza, reemplazo y reparación que se realizan de manera regular y ordenada en una carretera, para asegurar su buen funcionamiento y la prolongación de su vida de servicio, al máximo compatible con las previsiones de diseño y construcción de la obra.

Mejoramiento: ejecución de las actividades constructivas necesarias para adoptar a una carretera existente, en bueno, regular o mal estado, de mejores condiciones físicas y operativas de las que disponía anteriormente para ampliar su capacidad o simplemente ofrecer un mejor servicio al usuario.

Niveles de servicio: es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular y de su percepción por los motoristas o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad la conveniencia y la seguridad vial.

Revestimiento: Es el procedimiento mediante el cual se mejora el estado de una carretera mejorando su nivel de servicio. Son caminos cuyo trazado geométrico obedece a algún diseño estudiado y tienen drenaje suficiente para permitir el tráfico durante la estación lluviosa. La superficie es de grava o suelo estable cuyo espesor mínimo es de 25cm. Posee un ancho de corona entre 4 y 8 m el cual permite una circulación vehicular cómoda para ambos sentidos, pero va a estar en dependencia de la topografía del terreno.

Reconstrucción: es el trabajo realizado para rehabilitar una carretera en mal estado para reestablecer sus condiciones físicas a un mejor nivel de servicio, al que fue construida anteriormente.

Rugosidad: es la desviación vertical del perfil de un pavimento de su forma tal como fue diseñado y que resulta en incomodidades en el manejo del vehículo. Por lo general, la rugosidad se mide para fines de mantenimiento vial por medio de IRI.

Sobre ancho: los sobre anchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños, combinadas son carriles angostos para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura cómoda y económica. Los sobre anchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación.

Partes complementarias

Línea central: es el eje central de la carretera. A él están referidos todas las medidas de sus componentes, ancho de rodamiento, hombros cunetas, taludes, contra cunetas, alcantarillas, puentes etc. Se identifica en los planos con el símbolo LC o LE.

Bordillos y cunetas: los bordillos se usan extensamente en las carreteras urbanas y suburbanas, siendo su uso muy limitado más bien nulo en las carreteras rurales. Esto tiene que ver con la función que desempeñan dichos dispositivos como son el control del drenaje, la delimitación del borde del pavimento, la determinación del borde de las aceras o de la zona de protección de los peatones o simplemente por razones de estética.

Pavimento: la estructura integral de las capas de sub-rasante, sub-base, base y carpeta colocado encima de la rasante y destinada a sostener las cargas vehiculares.

Estructura de pavimento: es la estructura conformada por la sub-base, base y superficie de rodadura colocada sobre la sub-rasante, cuya función es soportar los esfuerzos que le transmiten las cargas directas del tráfico distribuirlos a la sub-rasante y a la vez resistir el desgaste y proveer una superficie que permita una circulación cómoda y segura.

Terracería: es el volumen de material que hay que cortar o terraplenar para formar el camino hasta la subcorona.

Sub-corona: es la superficie que limita a las terracerías y sobre las que se apoyan las capas del pavimento. En la sección transversal es una línea.

Pendiente: es la elevación en porcentaje que posee una tangente en una sección transversal y longitudinal en una carretera, las pendientes pueden ser positivas y negativas.

Pendientes gobernadoras: es la pendiente medida que teóricamente puede darse a la línea sub-rasante para dominar un desnivel determinado, en función de la característica del tránsito y la configuración del terreno, la mejor pendiente gobernadora para cada caso será aquella que al conjugar esos conceptos permita obtener el menor costo de construcción, conservación y operación.

Pendiente máxima: Es la mayor pendiente que se permite en el proyecto y está en dependencia del volumen y la composición del tránsito, las características del terreno y la velocidad de diseño.

Pendiente mínima: Es la menor pendiente que se permite en el proyecto, para que el agua pueda correr por las cunetas y la línea de fondo de estas deberá tener como mínimo una pendiente de 0.5%, la línea de fondo de las cunetas deberá tener la misma pendiente que la sub-rasante de la vía.

Peralte: es la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo de las curvas horizontales.

Radio de curvatura: es el radio de la circunferencia de la cual la curva horizontal o vertical es solo un segmento.

agregados: un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria o la roca triturada usados para ser mezclados en diferentes tamaños según sea la necesidad y la especificación de la obra.

Balasto: es una capa superficial de material selecto consistiendo por lo general de material granular natural o agregado triturado, que se coloca sobre la sub-rasante terminada de una carretera, con el objeto de protegerla y que sirva de superficie de rodadura para permitir el libre tránsito durante todas las épocas del año.

Base: es la capa de espesor diseñado constituyente de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

CBR: Es la relación entre el esfuerzo requerido para introducir un pistón normalizado dentro del suelo que se ensaya y el esfuerzo requerido para introducir el pistón hasta la misma profundidad en una muestra patrón de piedra triturada. El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en kilos/cm² (libras por pulgadas cuadradas psi) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón con un área de contacto de 19.4 cm². Dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitario patrón requerido para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturada.

Sub-base: es parte de una carretera destinada para conformar y servir de soporte a la base y a la superficie de rodamiento.

Sub-base granular: capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la sub-rasante y la base.

Superficie de rodamiento: es la parte de la carretera que se construye sobre la base y sobre la cual circulan los vehículos.

Sub-rasante: es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la sub-corona en la sección transversal es un punto cuya diferencia de elevación con la rasante está determinada por el espesor del pavimento y cuyo desnivel con respecto al terreno natural, sirve para determinar el espesor de corte o terraplén.

Taludes: es la inclinación del parámetro de los cortes o de los rellenos expresado numéricamente por el recíproco de la pendiente.

Tangentes: son las proyecciones sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas, se caracterizan por su longitud y sus pendientes y están limitadas por dos curvas sucesivas.

Terraplén: obra construida empleando suelos apropiados debidamente compactados para establecer la función de un pavimento.

Transito: circulación de personas y vehículos por calles, carreteras, el transito es un factor importante que indica la demanda de una carretera en función del cual se diseñan las carreteras.

Transito promedio Diario Anual (TPDA): se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un periodo de un año.

Capítulo I. Aspectos introductorios

1-1 Introducción

Las carreteras son el medio de transporte a través de la cual circula la economía de un país, siendo importantes para la distribución de mercancías y transporte de pasajeros que desean movilizarse hacia las diferentes partes dentro o fuera de una determinada región, para establecer comunicación entre municipios y departamentos lo que fortalece las relaciones y el desarrollo social, por esta razón las carreteras se deben construir bajo especificaciones técnicas que garanticen la durabilidad y funcionabilidad durante un periodo de vida útil.

El énfasis en mejores estrategias de transporte debe incluir mejoras eficientes y seguras del sistema de carretera de tal manera que exista comodidad, seguridad y economía, previstos en el proyecto en función de la demanda del tráfico vehicular y presupuesto disponible.

En la implementación adecuada de guías y especificaciones técnicas para el diseño de estructuras de pavimentos es necesario tomar en cuenta las variables de diseño adoptadas en cada metodología, los parámetros y criterios de evaluación deben involucrar en mayor medida las condiciones de la región, y las características mecánicas del suelo en donde se desee construir la obra, esto contribuirá a que el pavimento alcance su nivel de servicio en el periodo para el cual se diseñe.

A demás de seleccionar la mejor metodología de diseño es conveniente realizar un estudio de alternativas para el diseño de estructuras de pavimento, en las cuales se prevean las variables económicas y constructivas y seleccionar la que tenga mayor capacidad de disipar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y que resulte ser más económica al inicio de su construcción y al final del periodo de diseño, tomando en cuenta los costos de mantenimientos demandados por cada sistema de pavimento.

De acuerdo a los planteamientos anteriores se muestra un estudio técnico-económico del uso de pavimento rígido y flexible, en el cual se evalúan dos alternativas constructivas; pavimento rígido y flexible con base granular triturada y estabilizada utilizando la guía de la AASHTO 1993 para ello se ha tomado como muestra el tramo de carretera Unikwas-Mulukuku, ubicado en Rio Blanco Siuna.

El análisis técnico consiste en la evaluación de la calidad de la obra en la que se estudian los siguientes aspectos: Tiempo de ejecución de la obra, para ello se describen los procedimientos constructivos para ambos pavimentos, tiempo de duración del proyecto, aquí se analizan los mantenimientos periódicos; el confort,

confiabilidad y seguridad a los usuarios, está en función de las características de la superficie de rodadura.

Se dice que una carretera es técnicamente aceptable cuando ésta cumple con las especificaciones de diseño y parámetros constructivos.

El análisis económico está basado en los costos requeridos por cada estructura de pavimento en donde se toma en cuenta costos iniciales de construcción y de mantenimiento, evaluando tasa interna de retorno y valor presente a cada pavimento.

1-2 Antecedentes

A partir del año 1920 y 1945 los gobiernos centroamericanos comenzaron a interesarse por mejorar la red vial, en esta fecha se consideraban unos 40000km en todo Centroamérica en su mayoría eran carreteras de tierra, transitables en tiempo seco aproximadamente un 10% tenían una carpeta de rodadura asfáltica.

En el año de 1940, época en la cual fue creado el Departamento de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas (Hoy Ministerio de Transporte e Infraestructura), en Nicaragua solo existían 201 Kms. de carreteras de los cuales solamente 52 Kms. eran pavimentadas. Este departamento se constituyó como el organismo oficial responsable a nivel nacional de la construcción y mantenimiento de las carreteras del país y sus obras complementarias; habiéndose construido todas las carreteras por administración directa, exceptuando algunos contratos para la construcción de la carretera interamericana y la carretera al Rama que fueron adjudicados al bureau of public roads mediante convenio de ayuda suscrito entre Nicaragua y Estados Unidos, que a través de toda la construcción de carreteras suministró la supervisión y asesoramiento técnico.

A partir del año 1955, existían en Nicaragua 3,687 kms, de carretera, contando con 280 kms. De carreteras pavimentadas, ya en 1965 se tenían 6,475 kms. De los cuales 811 eran pavimentas. (Información brindada por MTI Nicaragua) .La red vial de Nicaragua está constituida por carreteras de pavimento flexible, pavimento articulado (adoquines), caminos revestidos y caminos de verano, y recientemente incorporado el uso de pavimento rígido, este pavimento se está utilizando en barrios y en zonas de tráfico pesado especialmente en la zona del atlántico donde el clima y el transporte es un factor directo de afectación.

Según el inventario realizado por el MTI en el año 2014, Nicaragua tiene una red vial de aproximadamente 23897 km de carretera entre los cuales 3282km son pavimentados, de estos, 2319.15km son de carpeta de rodamiento asfáltica, y 80.44km de pavimento rígido, implementado por primera vez en el año 2009, también se tiene un registro de 882.41km de carretera con carpeta de rodamiento de adoquín, el restante corresponde a caminos revestidos con materiales granulares de todo tiempo y caminos de verano. El pavimento que más se ha utilizado en Nicaragua es el pavimento flexible elaborado con mezclas asfálticas en caliente construido en vías de transporte continuo con volúmenes de transito moderado. En zonas donde el volumen de transito está constituido por vehículos de carga se están construyendo carreteras de pavimento rígido, también en vías interurbanas donde se requiere que el pavimento dure muchos años ya que este pavimento tiene mayor vida útil y es más resistente al paso de cargas ocasionadas por los vehículos además, tiene menos costos de mantenimiento.

1-3 Justificación

Considerando que de la red vial pavimentada de Nicaragua un 14.87% cuenta con estructuras de pavimento flexible utilizando mezclas asfálticas en caliente, y en menor grado el uso de pavimento rígido que recientemente se incorporó a partir del año 2009, es necesario fundamentar a través de estudios basados en las características técnicas y económicas de cada sistema constructivo, y que a su vez permita evaluar los costos iniciales de construcción, como de mantenimientos y fundamentar en el que se deje claro los planteamientos que demuestren que la alternativa seleccionada sea la que brinde mejores resultados al principio y a lo largo de su vida de diseño.

La demanda de nuevas y mejores vías de transporte influye en la aplicación de mejores técnicas constructivas tomando criterios de diseño estándares que sean aplicables a cada región en particular, en el revestimiento de la superficie de rodadura de una carretera se debe tomar en cuenta la facilidad de obtención de la materia prima para la construcción de los pavimentos, en este orden considerar como indicador fundamental la vida útil de cada pavimento.

La construcción de vías con pavimento rígido es una solución probada en el mundo, ya que aporta mayor seguridad para el usuario por ser anti-derrapante y brinda la oportunidad de contar con carreteras con ciclos de vida de entre 20 a 40 años, económicas en el largo plazo por sus bajos costos de mantenimiento y por el ahorro en combustible a los vehículos de hasta un 20%.

La pavimentación de calles, avenida, etc... Con asfalto en lugar de pavimento rígido ha demostrado en muchos lugares que es la mejor opción para el tipo de terreno con que cuentan las regiones, sin embargo no son muy ventajosas a largo plazo. Teniendo los planteamientos anteriores, se debe buscar respuestas mediante un sondeo económico de los costos unitarios de cada sistema constructivo y analizar las esferas posibles de ambos para dar un resultado objetivo.

La realización de este estudio acerca del análisis económico del uso de pavimento flexible y el pavimento rígido en Nicaragua, implica conocer las diferentes alternativas constructivas y ventajas económicas que conlleva el uso de ambos pavimentos lo cual servirá como fuente de información en la que se plasman; los parámetros de construcción y las características que los identifique tanto por su versatilidad y trabajabilidad como por sus ventajas económicas.

Debido a la carencia de guías técnicos para el diseño de estructuras de pavimento desarrollados en nuestro país este documento contiene información que puede ser de utilidad como obra de consulta para profesionales y técnicos dedicados al diseño de pavimento.

En la actualidad la tecnología de los pavimentos se ha desarrollado a tal grado de constituir un campo de nuevas especializaciones, por ello, y dado que en nuestro medio la información especializada en el campo de los pavimentos para carreteras es muy escasa, se hace necesario condensar en un mismo documento los aspectos y parámetros de diseño que se deben tomar en cuenta para el diseño de estructuras de pavimento, a fin de contribuir a la difusión de los conocimientos que se han adquirido en nuestro medio sobre el tema se espera que este documento venga a llenar ese vacío y sirva como herramienta técnica, de tal manera que satisfaga la demanda de los investigadores y de esta manera les sirva en la toma de decisiones basada en el análisis comparativo que se plasma en la investigación.

1-4 Objetivos

1-4-1 Objetivo General:

Comparar Técnica y Económicamente las alternativas de construcción utilizando pavimento Rígido y Pavimento Flexible.

1-4-2 Objetivos Específicos:

- Mostrar las condiciones actuales de los pavimentos en Nicaragua.
- Describir los componentes estructurales y procedimientos técnicos requeridos para la construcción de pavimentos rígido y flexible.
- Describir el procedimiento técnico para el diseño de estructuras de pavimento rígido y pavimentos flexibles, utilizando la metodología de la AASHTO 1993.
- Realizar diseño de espesores de pavimento rígido y pavimento flexible para el proyecto Unikwas-Mulukuku, Rio Blanco Siuna, utilizando la guía de la AASHTO 1993.
- Realizar un análisis Técnico - económico comparativo sobre el uso del pavimento rígido y pavimento flexible, basado los costos de construcción y mantenimiento.

1-5 Metodología de trabajo

La metodología utilizada en esta investigación, consistió principalmente en identificar, los problemas a resolver dentro del área de la construcción de los pavimentos utilizados en Nicaragua refiriéndonos a pavimento rígido y pavimento flexible, partiendo de un análisis técnico y económico que sirva como herramienta de apoyo para la toma de decisiones al momento de construir una carretera, logrando así definir los objetivos y alcances de la investigación.

La investigación técnico económica del uso de pavimento rígidos y flexible, se desarrolló por capítulos, debido a la amplitud del tema, para desarrollar cada capítulo de esta investigación, primero se realizó una revisión bibliográfica sobre pavimentos rígidos y pavimentos flexibles utilizados en la actualidad, y el estado actual de los pavimentos en Nicaragua. Seguidamente identificar los componentes estructurales y materiales involucrados en la construcción y elaboración de las mezclas.

Posteriormente, se procedió a desarrollar la metodología de diseño estructural utilizando la guía de la AAHSTO 1993, durante esta etapa se realizó el diseño estructural del pavimento tanto flexible como rígido utilizando para el análisis base granular sin tratamiento y base granular estabilizada con cemento portland.

La siguiente etapa consistió en abordar las posibles fallas que se pueden presentar en los pavimentos y los tratamientos de rehabilitación indicados para cada actividad de mantenimiento así como detallar los costos requeridos por mantenimientos para cada uno de los pavimento en estudio.

Para realizar la etapa de costos y presupuestos, de la cual se obtendrían los costos iniciales de construcción, se tomaron las cantidades de obras de un proyecto en construcción de una carretera en el departamento de Rio Blanco entre los municipios Unikwas y Mulukuku.

Posteriormente se realizó el análisis técnico económico, en el cual se comparan los costos iniciales de construcción y costos por mantenimientos requeridos por los pavimentos rígidos y flexibles, para finalmente resumir las conclusiones y recomendaciones encontradas

Capítulo II.

2 Condiciones de los pavimentos en Nicaragua

2-1 Generalidades

A pesar de tener una larga historia en la red vial, Nicaragua, cuenta con un 15.14% de carreteras con superficie de rodadura pavimentada entre pavimento flexible, pavimento rígido y semirrígido lo cual indica que el avance es muy poco, hasta los últimos años sin embargo, las carreteras pavimentadas aumentan a partir del periodo 2007-2014. Por otro lado, el 84.86% corresponde a no pavimentados clasificados como carreteras revestidas y caminos de verano.

Es importante señalar que la red vial de Nicaragua hasta el 2009 estaba constituida por estructuras de pavimento flexible, adoquinado, caminos revestidos y caminos de verano sin embargo, en el 2009 se incorpora una nueva clasificación por tipo de superficie, el pavimento rígido utilizando concreto hidráulico simple esto se comenzó a utilizar en la zona Norte debido a las condiciones climáticas, lo que se refleja en las altas precipitaciones y suelos con poca capacidad de soporte, estos han sido una opción que responde a las necesidades específicamente de la Costa Caribe Sur lográndose construir 5.68km de un total de 7.5km de esta región. En los últimos años el auge del concreto hidráulico simple es notorio en los barrios de la capital y municipios donde se requiere un largo periodo de vida útil, también se está utilizando en zonas donde el volumen de tránsito obedece a vehículos pesados los cuales transportan productos que son la materia prima para el desarrollo económico del país.

En el año 2014 la red vial de Nicaragua es de 24137.49km, de los cuales 3653.38km son carreteras pavimentadas en buenas condiciones de estos 2346 km corresponde a pavimento flexible elaborados con mezclas asfálticas en caliente, en cambio, de pavimento semirrígido o adoquinado, se tiene 1175km, y la incorporación del pavimento rígido utilizando concreto hidráulico simple de este pavimento se tienen 132 km y 3496 km del restante corresponde a caminos revestidos y 9794km (40.58%) caminos de todo tiempo 7171 km (29.71%) corresponde a caminos transitados únicamente en estación seca.

En los últimos años se ha incrementado el uso de concreto hidráulico para mejorar el tipo de superficie, ya que representa una buena opción de pavimento en condiciones climáticas de altas precipitaciones y regiones de suelos de poca capacidad de soporte, aparte de los beneficios de resistencia con menor costos de mantenimiento con relación al pavimento flexible.

-Sistemas estructurales y Tipos de pavimentos existentes en Nicaragua

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados.

Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub-rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

La red vial de Nicaragua está clasificada según superficie de rodadura en pavimento flexible, pavimento rígido y semirrígido.

-Pavimento rígido

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub-rasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina sub-base del pavimento rígido.

La implementación del pavimento rígido (Concreto Hidráulico) inicio a partir del año 2009, construyéndose principalmente en las zonas de tráfico pesado, y en zonas con suelos de baja capacidad soporte y en la zona urbana, donde se requiere que el pavimento brinde un mayor tiempo de vida. En Nicaragua se cuenta con 132km de concreto hidráulico estos se suelen clasificar en simple y reforzados.

Clasificación del pavimento rígido.

a) Pavimento de rígido sin refuerzo (concreto hidráulico simple)

No tiene armadura en losa y el espaciamiento entre juntas es pequeño entre 2.5 y 4.5m, las juntas pueden no tener dispositivos de transferencias de cargas dovelas. El estudio se basara en este tipo de pavimento.

b) Pavimento rígido con refuerzo

Consiste en losas de concreto con espaciamientos mayores entre juntas entre (6 y 36m) y llevan armadura distribuida en la losa a efectos de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción.

-Pavimento flexibles

Este tipo de pavimento está formado por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

En Nicaragua es el pavimento más utilizado, del cual se cuenta con una red asfaltada de 2346km en su mayoría a base de mezclas asfálticas en caliente.

El pavimento flexible se puede dividir de acuerdo a las características y composición de la mezcla, en frío o en caliente.

a) Mezclas asfálticas en caliente

Es la mezcla de agregados pétreos con aglomerante bituminoso minerales que deben cumplir con requisitos especificados en las normas mezclados mediante procedimientos controlados en caliente que darán como resultados un material con propiedades y características definidas, debido al uso en nuestro país será este tipo de mezclas la que abordaremos en este estudio.

b) Mezcla asfáltica en frío

Es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminoso emulsificador o asfaltos rebajados. Es un tipo de pavimento construido por la combinación de agregados pétreos y un relleno mineral (filler), de ser necesario con un asfalto emulsionado catiónico o diluido con solvente, cuya mezcla, aplicación y compactación se realiza en frío (condiciones ambientales).

El ligante puede ser precalentado hasta no más de 60°C, el resto de las operaciones, se llevan a cabo a temperatura ambiente. Los agregados pétreos no requieren secado ni calentado, es decir, que se emplean tal como se presentan en el acopio, con su humedad natural, estas mezclas también pueden ser elaboradas en la misma planta que se realizan las mezclas asfálticas en caliente, prescindiendo para ellas del sistema de calefacción para el secado de los áridos y el calentamiento circulación del asfalto.

-Pavimentos semirrígidos o articulados (adoquinado).

De la red vial de Nicaragua, 1175km tienen superficie de rodadura constituida por adoquines.

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme elaborados entre sí. Esta puede ir ubicada sobre una capa delgada de arena, la cual a su vez, se apoya sobre una capa de base granular, o directamente sobre la sub-rasante, dependiendo de la calidad de esta y de las magnitudes frecuencia de las cargas que circulan por dicho pavimento

-Caminos revestidos

Son caminos cuyo trazado geométrico obedece a normas de diseño para este tipo de superficie vial, tienen drenaje suficiente para permitir el tráfico durante la estación lluviosa. La superficie es de grava o suelos estables cuyo espesor mínimo es de 25cm. Posee un ancho de corona entre 4 y 8m, el cual permite que los vehículos desarrollen mayor velocidad en relación a los caminos de todo tiempo, además, permiten una circulación cómoda y segura para ambos sentidos, en dependencia de la topografía del terreno, en Nicaragua se cuenta con 3496km con este tipo de superficie.

-Caminos de todo tiempo

Su trazo geométrico no ha sido diseñado, ajustándose más que todo a la topografía del terreno, permiten la circulación de tráfico todo el año y la superficie de rodamiento está conformada por suelos estables con un espesor mínimo de 15cm. Su ancho de corona entre 4 a 4 metros no resulta suficiente para una circulación cómoda en ambos sentidos. La red vial de Nicaragua cuenta con 9794km con superficie de todo tiempo.

-Caminos transitados en estación seca

No cuentan con un diseño geométrico, si no que su trazado obedece a los lineamientos naturales del terreno. Comunican a pequeños poblados entre si y a caminos de mayor importancia municipal. La superficie de rodamiento la constituye el terreno natural, por lo general la conforman materiales de tipo arcillosos, que hace que la circulación del tráfico quede interrumpida en la estación de lluvia. Los anchos de corona oscilan entre 2.5 y 3 metros al igual que los caminos de todo tiempo estos no permiten una circulación cómoda en ambos sentidos. Con este tipo de superficie se tienen 7171km en la red de Nicaragua.

2-2 Diseños utilizados en Nicaragua

En nuestro país el Ministerio de Transporte en Infraestructura, como ente normador en materia de infraestructura vial, cumple con las especificaciones técnicas y normas de diseño, establecidas para nuestra región como son las de la SIECA y LA AASHTO lo cual responde a las exigencias actuales del tráfico nacional, esto garantiza la rentabilidad en la inversión de la infraestructura. También toma en cuenta factores de diseño propios según las condiciones de la región como es el diseño de drenaje.

Las características físicas y geométricas de las carreteras de Nicaragua según el tipo de superficie de rodadura se detallan a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 2-1 Geometría de las carreteras de asfalto

| Característica | Rango |
|-----------------------|------------------------------------|
| Ancho de corona | 6.0-10m |
| Ancho de calzada | 6.0-7.3m |
| Derecho de vía | 20-40 m |
| Bombeo | 2-3 % |
| Velocidad de diseño | 60-80 km |
| Pendiente máxima | 3-8 % |
| Pendiente ponderada | 0.5-4.5 % |
| Carga de puente | HS15 – 44, HS-29-44 y HS-20-44+25% |

Según ley 1952 (MTI Red Vial de Nicaragua 2014)

Tabla 2-2 Geometría de las carreteras adoquinadas

| Característica | Rango |
|-----------------------|--------------|
| Ancho de corona | 5.7-9 m |
| Ancho de calzada | 5.5-7 m |
| Derecho de vía | 11-38 m |

Fuente: (MTI Red Vial de Nicaragua 2014)

Tabla 2-3 Geometrías de las carreteras de concreto hidráulica

| Característica | Rango |
|-----------------------|--------------|
| Ancho de corona | 7.6-10.9 m |
| Ancho de calzada | 6.7-8.4 m |
| Derecho de vía | 29.3-40 m |
| Bombeo | 2-3 % |
| Velocidad de diseño | 30-90 km/h |
| Pendiente máxima | 3-8 % |
| Pendiente ponderada | 0.5-5.4 % |
| Carga de puente | HS-20-44+25% |

Fuente: (MTI Red Vial de Nicaragua 2014)

Tabla 2-4 Geometría de las Carreteras revestidas

| Característica | Rango |
|-----------------------|-----------------------|
| Ancho de corona | 4-8 M |
| Ancho de calzada | Incluido en la corona |
| Derecho de vía | 12-46 m |
| Pendiente máxima | 0.09-22.59 % |

Fuente: (MTI Red Vial de Nicaragua 2014)

2-3 Seguimiento y control de las carreteras

-Control de las carreteras

A partir de 1940 el ministerio de transporte lleva control de los diseños y clasificación de las carreteras de la red vial nacional según tipo de superficie, sin embargo en 1977 esta actividad se descontinuo por afectaciones de la guerra nacional ante esta situación fue hasta 1994 que nuevamente el ministerio de transporte se toma a la tarea de actualizar la red vial de Nicaragua pero no había vigilancia continua fue hasta el año 2007 que la red vial se actualiza año con año hasta el día de hoy.

En cuanto a la vigilancia según las condiciones de vida de las carreteras, año con año el ministerio de transporte realiza aforos en todas las carreteras del país esto para analizar el incremento del tráfico y vincularlo con el transito futuro para el cual fueron diseñadas las carreteras sin embargo, una vez que éstas alcanzan su vida de diseño las medidas que se toman es el mantenimiento continuo una vez que estas presentan deterioros en la superficie de rodadura.

Con relación a conteos de tránsito para obtener el TPDA Nicaragua realiza conteos anuales desde el 2007 por medio de conteos mecánicos, sin embargo, cuando se desea construir una nueva carretera la empresa constructora encargada realiza aforos durante 3 días en un periodo de 24 horas a través de conteos manuales.

-Seguimiento

El ministerio de transporte e infraestructura en función con el FOMAV se dan a la tarea de velar porque el corredor vial preste las mejores condiciones de circulación, el incremento de carreteras que han mejorado sus condiciones de rodadura se puede estimar en 100km por año a partir del año 2009, en cambio el FOMAV realiza mantenimiento rutinario a todas aquellas carreteras que han alcanzado su vida útil.

Para el diseño de las carreteras en Nicaragua se utiliza la metodología de la AASHTO Y la metodología del SIECA, considerando criterios propios de drenaje según las condiciones de la región, para el cálculo del tránsito el MTI tiene su propia tabla de clasificación vehicular en el caso de recarpeteos se utiliza la viga

Benkelman para conocer la capacidad estructural necesaria para soportar sellos asfálticos sin que se reflejen daños a la estructura.

2-4 Condiciones climatológicas

Los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura. Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de sub-rasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción tales como el movimiento de tierras y la colocación y compactación de capas granulares y asfálticas. Los cambios de temperatura en las losas de pavimentos rígidos ocasionan en éstas esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas.

En los pavimentos flexibles y dado que el asfalto tiene una alta susceptibilidad térmica, el aumento o la disminución de temperatura puede ocasionar una modificación sustancial en el módulo de elasticidad de las capas asfálticas, ocasionando en ellas y bajo condiciones especiales, deformaciones o agrietamientos que influirían en el nivel de servicio de la vía.

Por consiguiente la temperatura tanto de tendido de las mezclas asfálticas como de elaboración se presentan en la siguiente tabla según el NIC 2000 (Nicaragua)

La tasa de aplicación deberá ser ajustada por temperatura a fin de que la cantidad a aplicar corresponda a 15°C.

Tabla 2-5 Temperatura de construcción de mezclas asfálticas.

| Espesor de capa compactada | <50mm | 50-75mm | >75mm |
|-------------------------------------------|-------------------------------------|---------|-------|
| Temperatura de la superficie de la vía °C | Temperatura mínima de colocación °C | | |
| 10-14.9 | 146 | 138 | 132 |
| 15-19.4 | 141 | 135 | 129 |
| 20-24.9 | 138 | 132 | 129 |
| 25-29.9 | 132 | 129 | 127 |
| ≥30 | 129 | 127 | 124 |

Fuente: NIC-2000

En ningún caso la mezcla de concreto asfáltico podrá ser calentada a una temperatura superior a la especificada en el diseño de la mezcla aprobada. En cambio el pavimento rígido el tendido de la mezcla se debe hacer a temperaturas de 16 a 20 °C

2-5 Situación vial

La antigüedad de las carreteras es un elemento importante para cualquier evaluación, ya que el pavimento una vez cumplido el 75% de su vida útil pierde aceleradamente su calidad, esto quiere decir que en la última cuarta parte de vida, los periodos de mantenimiento se vuelven más cortos.

Las condiciones de las capas de rodadura indican en qué circunstancias fueron construidas y en qué fase de vida útil se encuentran de acuerdo a su periodo de diseño además indican la frecuencia con que se les está dando mantenimiento todo esto permite observar la prevalencia de los tipos de rodaduras más utilizadas y sus condiciones de vida. Del 69% de la red en mal estado, un 36 % corresponde a una red en pésimas condiciones.

Capítulo III

3. Elementos que integran la estructura de pavimento

La estructura de pavimento está constituida por elementos o capas que disipan las cargas transmitidas por efectos del tráfico estos elementos también cumplen otras funciones que ayudan a la durabilidad de la superficie de rodadura.

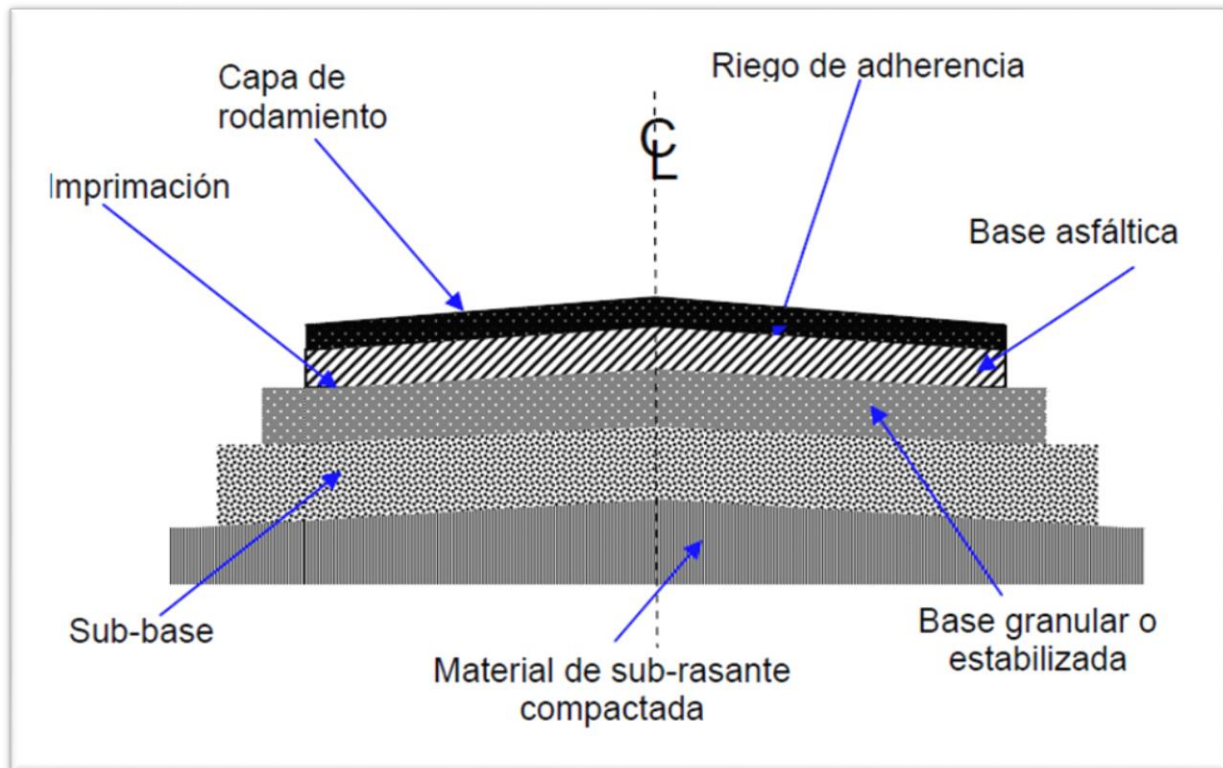


Figura 3.1 Elementos que conforman la estructura de pavimento.

Fuente: (Ing. Gustavo Corredor, Apuntes de Pavimentos Volumen I, 2004).

3-1 Elementos que integran el Pavimento flexible

Este tipo de pavimento está formado por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra y de acuerdo a la importancia de la carretera según la demanda del tránsito.

3-1-1 Superficie de rodadura o carpeta de rodamiento

Es la capa que se coloca sobre la base su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento impermeabilizando la superficie para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos. La superficie de rodamiento debe tener 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, sirve para impedir la entrada de cantidades excesivas del agua superficial a la base y las terracerías directamente desde arriba.

Asimismo la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento absorbiendo cargas. La superficie de rodadura se puede construir a base de; mezclas asfálticas en frío, en calientes, riegos asfálticos, sellos asfálticos. La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.

3-1-2 Base

Es una capa (o capas) de muy alta estabilidad y densidad. Su principal propósito es el de distribuir o "repartir" los esfuerzos creados por las cargas rodantes que actúan sobre la superficie de rodamiento para que los esfuerzos transmitidos a la subrasante no sean tan grandes que den por resultado una excesiva deformación o desplazamiento de la capa de cimentación. Las características de la base no pueden permitir que sea dañada por el agua capilar ni por la acción de las heladas, ya sea que actúen por separado o en forma conjunta. Los materiales de que disponga la localidad se utilizarán ampliamente en la construcción de la base, y los materiales preferidos para este tipo de construcción varían de manera notable en las partes diferentes del país.

3-1-3 Sub-base

En muchos pavimentos de alta resistencia, es frecuente que se coloque una sub-base de material seleccionado entre la base y la terracería. La superficie de rodamiento puede variar en un espesor desde menos de 1 pulgada en el caso del tratamiento bituminoso superficial usado por su bajo costo en caminos de tránsito ligero, hasta 6 pulgadas o más de concreto asfalto usado para caminos de tránsito pesado.

3-1-4 Sub-rasante

La sub-rasante es la capa de cimentación, la estructura que debe soportar finalmente todas las cargas que corren sobre el pavimento. En algunos casos, esta capa estará formada solo por la superficie natural del terreno.

La característica especial que define la propiedad de los materiales que componen la sub-rasante se conoce como módulo de Resiliencia. A cada uno de los elementos de la estructura del pavimento debemos conocer las Propiedades de los materiales para base, sub-base y sub-rasante. Los materiales utilizados para los elementos de la estructura del pavimento deben ser caracterizados de acuerdo a la norma ASTM (American State Test Materials).

(Ricardo.D, 2013)

-Las terracerías

Pueden ser definidas como los volúmenes de materiales que se extraen o sirven de relleno para la construcción de una vía terrestre; la extracción puede hacerse a lo largo de la línea de la obra y si este volumen se usa en la construcción de los terraplenes o los rellenos, se dice que se tienen terracerías compensadas; el volumen de corte que no se usa, se denomina desperdicio.

Si el volumen que se extrae en la línea no es suficiente para construir los terraplenes o los rellenos, se necesita extraer material fuera de ella o sea en zonas de préstamos; si estas zonas están cercanas a la obra, del orden de los 10 a los 100 m a partir del centro de la línea, se llaman préstamos laterales; si estas zonas se encuentran a más de 100 m son préstamos de banco.

Las terracerías en terraplén se dividen en dos zonas; el cuerpo del terraplén que es la parte inferior, y la capa sub-rasante que se coloca sobre la anterior; con un espesor mínimo de 30 cm. A su vez, cuando el tránsito que va a operar sobre el camino es mayor a 5000 vehículos diarios, al cuerpo del terraplén se le colocan los últimos 50 cm, con material compactable, y esta capa se denomina capa subyacente.

La finalidad de esta parte de la estructura de una vía terrestre es 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

-Funciones de las partes de la estructura del pavimento flexible

a)- Funciones de la superficie de rodadura.

Sirve para impedir la entrada de cantidades excesivas del agua superficial a la base y las terracerías directamente desde arriba. Además de brindar comodidad al paso vehicular transmite las cargas al resto de la estructura del pavimento.

b)- Funciones de la base.

La base granular

Resistencia. La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub-base y a la sub-rasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

Absorber parte de los esfuerzos y distribuirlos a las capas inferiores en una magnitud tal que puedan ser soportados por materiales de menor calidad como son los que conforman las capas de sub-base o de sub-rasante.

Una segunda función de la capa base está asociada con la facilidad de drenar las aguas provenientes de la superficie, o de evitar la ascensión capilar de aguas inferiores. Por último, persiguen un fin económico, ante la posibilidad de emplear materiales de menor costo que los utilizados en la capa de rodamiento.

Normalmente son construidas con mezclas de fragmentos de piedra o grava, y materiales finos de relleno, pudiendo también emplearse suelos locales estabilizados mediante la incorporación de cal hidratada o cemento Portland, en cantidades suficientes para incrementar en forma sustantiva su capacidad de resistencia.

Sus propiedades fundamentales dependerán, por otra parte, del diseño final de la estructura de pavimento, en particular, si se contempla que la capa de base sea, o no, protegida mediante la colocación de un sello de tratamiento asfáltico superficial.

Función económica. Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la sub-base respecto a la base.

- **Función de la Carpeta de rodamiento**

Impermeabilidad. Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.

Resistencia. Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

c)- Funciones de la sub-base

Función económica. Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica; en efecto, el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la sub-rasante sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construido con materiales de alta calidad; sin embargo, es preferible distribuir las capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad la cual es frecuentemente la más barata. Esta solución puede traer consigo un aumento en el espesor total del pavimento y no obstante, resultar más económica.

Capa de transición. La sub-base bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la sub-rasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la sub-rasante la contaminen menoscabando su calidad.

Disminución de las deformaciones. Algunos cambios volumétricos de la capa sub-rasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios extremos de temperatura (heladas), pueden absorberse con la capa sub-base, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.

Economía de construcción, por ser de menor costo que los empleados en las capas de base, y facilitar el drenaje de las aguas, tanto las de percolación como las de ascensión capilar. Por otra parte, en caso de ser necesario reducir cambios volumétricos originados por suelos de carácter expansivo, se construyen también con grandes espesores, y sirven para impedir que las deformaciones de las capas de la sub-rasante sean reflejadas en la superficie del pavimento.

Normalmente son construidas con materiales granulares sin procesar, con espesores relativamente mayores a los de la capa base (25-35 cm.), o en el caso de emplearse materiales locales de baja calidad, se estabilizan mediante la incorporación de cal hidratada o cemento Portland en cantidades reducidas para incrementar ligeramente su capacidad de resistencia.

Resistencia. La sub-base debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado a la sub-rasante.

Drenaje. En muchos casos la sub-base debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

Los materiales que van a ser empleados en las capas de sub-base son gravas y arenas obtenidas de los depósitos de ríos o minas y son empleados directamente como vienen del saque, sin ningún procesamiento adicional excepto el de la eliminación del “sobre-tamaño”, es decir el material que exceda el tamaño máximo establecido en las especificaciones, normalmente 2.5 pulgadas.

Normalmente materiales que clasifican como A-2-4 según la AASHTO, con plasticidades bajas ($LL < 25\%$ e $IP < 9\%$). El CBR de estos materiales normalmente se ubica entre un 20% y un 35% y se logra con ellos una sub-base de regular a mala.

También se emplean con mucha frecuencia los materiales de los saques de las márgenes de los ríos, por su baja o nula plasticidad, estos materiales arrojan CBR entre un 35% y un 50%. Las sub-bases construidas con estos materiales son de buena calidad. La gran desventaja de estos materiales, por ser empleados sin procesamiento posterior, es el de su gran variabilidad: tan pronto un material de río tendrá un CBR de 40%, como podrá tenerlo de un 25%. Su ventaja radica en su bajo costo. (Fonseca A. , 2001)

d)- Funciones de la sub-rasante: La función de la sub-rasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la sub-rasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.

Tabla 3-1 Granulometría de materiales de sub-base

| Sub-base | % que pasa por el tamiz | | | | | | |
|----------|-------------------------|-----|--------|-------|-------|-------|------|
| | 2" | 1" | 3/8" | #4 | #10 | #40 | #200 |
| | 100 | 100 | 60-100 | 50-85 | 40-70 | 20-50 | 5-20 |

Fuente: (Corredor G. , 2004)

3-2 Elementos que integran la estructura de pavimento Rígido.

3-2-1 Superficie de rodadura:

La superficie de rodadura del pavimento Rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o sub-base. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub-rasante. Todo lo contrario sucede en los pavimentos flexibles, que al tener menor rigidez, transmiten los esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como consecuencias mayores tensiones en la sub-rasante. (Metodo AASHTO 93 para el diseño de pavimento rigido, 1993)

3-2-2 Base:

Es una capa (o capas) de muy alta estabilidad y densidad. Su principal propósito es el de distribuir o "repartir" los esfuerzos creados por las cargas rodantes 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 la capa de cimentación.

Las características de la base no pueden permitir que sea dañada por el agua capilar ni por la acción de las heladas, ya sea que actúen por separado o en forma conjunta. Los materiales de que disponga la localidad se utilizarán ampliamente en la construcción de la base, y los materiales preferidos para este tipo de construcción varían de manera notable en las partes diferentes del país.

3-2-3 Sub-rasante: La sub-rasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la sub-rasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la sub-rasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.

-Función de los elementos del pavimento rígido

Carpeta de rodadura o losa de concreto: Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen durante su vida de diseño.

Funciones de la base.

Como se indicó en el numeral 3-1 inciso b), de este documento.

Función de la sub-rasante

Como se indicó en el numeral 3-1 inciso d) de este documento.

Capítulo IV

4. Evaluación de los elementos que integran la estructura de pavimento.

4-1 Evaluación de la Sub-rasante.

La sub-rasante es la capa en la que se apoya la estructura de pavimento, la propiedad que define la característica de los materiales se conoce como módulo de Resiliencia esta propiedad depende de la granulometría, plasticidad, clasificación del suelo, resistencia al corte, susceptibilidad a las variaciones de temperatura y el drenaje de los materiales existentes, además de realizar ensayos de carga estática de baja deformación como estudios por CBR, ensayos de compresión simple, actualmente se usan ensayos dinámicos y de repetición de cargas como el módulo de Resiliencia esto demuestra lo que sucede debajo de los pavimentos en cuanto a tensiones y deformaciones.

Al momento de diseñar una estructura de pavimento se debe tomar en cuenta las características físico-mecánica de los suelos, para conocer estas propiedades es necesario analizar muestras a lo largo del tramo de carretera, posteriormente en el laboratorio se realizan las pruebas granulométricas, determinación de los límites de atterberg, valor soporte CBR, densidad (proctor), humedad, con los datos obtenidos se elabora un perfil estratigráfico en el que se definen la profundidad y los diferentes tipos de suelo.

Según la AASHTO M145 las principales variables que deben cumplir los suelos de sub-rasante son la granulometría para los suelos gruesos y la plasticidad, para los suelos finos los límites de Atterberg.

4-1-1 Material para Sub-rasante.

Tiene que estar libre de vegetación y material orgánico de lo contrario el material deberá reemplazarse por material adecuado para sub-rasante en el tramo correspondiente, o considerar la estabilización de los suelos subyacentes, los materiales preferentes para sub-rasante son los suelos granulares según la AASHTO T193 que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentren presentes en el tramo, de acuerdo con la AASHTO M145 los suelos clasificados como A8 son materiales inadecuados para la capa de sub-rasante. Los suelos A-1, A-2 y A-3, son usados como material de cubierta para sub-rasantes muy plásticas.

Grupo A-1: Mezclas bien graduadas de roca triturada o grava de gruesa a fina con un ligante no plástico o ligeramente plástico. Sin embargo este grupo también incluye suelos gruesos sin ligante.

Subgrupo A-1-a: Materiales que consisten principalmente de fragmentos de roca o grava, con o sin un ligante de suelo. Frecuentemente, los suelos A-2 son usados como material de cubierta para sub-rasantes muy plásticas. Los suelos del grupo A-2 tienen una calificación más baja que los A-1 por el ligante de menor calidad, uniformidad, o una combinación de los dos.

Dependiendo de la calidad y cantidad de ligante, los suelos A-2 pueden ser blandos en clima húmedo o suelto y polvosos en clima seco cuando son usados como superficie de rodamiento. Pero si son protegidos de estas condiciones extremas, pueden ser muy estables.

Grupo A-3: Material que consiste en arenas sin partículas gruesas ni ligante. Es típica la arena fina de playa o de desierto, sin finos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. También incluye mezclas de depósitos aluviales de arena pobremente graduada y un poco de arena gruesa y grava. Son buenos materiales para sub-rasantes para cualquier tipo de pavimento cuando son confinados y húmedos. Pueden sufrir erosión y bombeo bajo pavimentos rígidos. (Pueden ser compactados con rodillos vibratorios, neumáticos, y tambores lisos pero no con patas de cabra).

- **Granulometría de los suelos de sub-rasante**

Según la clasificación de la AASHTO M-145, la granulometría y la plasticidad son las principales variables que se deben analizar en los suelos de sub-rasante, clasificados de la siguiente manera: Grava: el tamaño de las partículas rocosas debe ser menor a 76.2 mm (3") hasta el tamiz número 10 (2mm)

Arena gruesa: debe ser de un tamaño menor a 2 mm hasta tamiz no. 40 (0.425 mm)

Arena fina: de un tamaño menor a 0.425 mm hasta tamiz no. 200 (0.075mm)

Limos y arcillas: tamaños menores de 0.075 mm

Conforme la AASHTO, un suelo fino es el que tiene más del 35% que pasa el tamiz no. 200 (0.075mm), los cuales se clasifican como A-4, A-5, A-6 o A-7. Dos suelos considerados finos que tengan granulometrías similares, pueden llegar a tener propiedades diferentes dependiendo de su plasticidad, cualidad que se analiza en el suelo que pasa el tamiz no.40, dichas propiedades de plasticidad se analizan conforme las pruebas de límites de ATTERBERG.

En general, para suelos finos si el límite líquido es mayor al 50% se dice que posee un CBR de 2 a 5%, Si el límite líquido es menor a 50% el CBR es de 5 a 15%

- **Las cualidades deseables en la sub-rasante son:**

1. alta resistencia
2. permanencia de la resistencia
3. uniformidad, reduciendo al mínimo los cambios bruscos
4. alta densidad, que generalmente incrementa su resistencia
5. poca susceptibilidad al agua
6. poca variación volumétrica
7. facilidad de compactación
8. permanencia de la compactación

El método más frecuente para caracterizar la "resistencia" de un material de sub-rasante es el ensayo de Valor Soporte California (CBR), sin embargo este valor se está relacionado con el módulo de Resiliencia.

4-1-2 Ensayo de Valor Soporte California (CBR)

-Descripción del ensayo:

El CBR de un material es función de su densidad, textura, humedad de compactación, humedad después de la saturación, su "grado de alteración", y su granulometría.

El valor de CBR normalmente se determina a dos profundidades de penetración del pistón normalizado de 3 pulgadas cuadradas de área (a 0,1 pulgada y a 0,2 pulgadas), seleccionando el mayor de los dos valores. Las cargas unitarias que resiste la piedra picada a estas profundidades son de 1.000 (70 kg/cm²) y 1.500 psi (105 kg/cm²), respectivamente.

El procedimiento del ensayo CBR, ha sido normalizado por la ASTM D-1883 y por la AASHTO T-93, y en forma resumida, comprende las siguientes etapas: Ejecución del Ensayo de compactación (Proctor), para determinar el Peso Unitario máximo seco, también identificado con el término densidad máxima seca), y la humedad óptima de compactación (%wopt) de las muestras. El tipo de ensayo de compactación depende del tipo de material.

Para material de fundación (sub-rasante), es decir suelos finos: Realizar el ensayo de Densidad-Humedad correspondiente al Proctor Estándar (AASHTO T-99). Para materiales de sub-base y/o base, es decir suelos gruesos:

Realizar el ensayo de Densidad-Humedad correspondiente al Proctor Modificado (AASHTO T-180)

- **Procedimiento de realización del ensayo CBR**

Compactación de tres (3) briquetas (muestras), cada una a la humedad óptima determinada en el paso anterior, en un molde de dimensiones estándar de 15 cm de ancho y aproximadamente 11,5 cm de altura. Se emplea un martillo de 10 libras de peso y de 18 pulgadas de caída para compactar cada muestra en cinco (5) capas. Una briqueta se compacta con 56 golpes por capa, la otra con 25 golpes por capa, y la última con 12 golpes por capa. A cada una de estas muestras se le determina su peso unitario seco.

Las tres muestras se someten a un proceso de inmersión total durante cuatro (4) días, al final de los cuales se determina nuevamente su humedad

Previamente se ha determinado la variación en altura de las muestras. El incremento de altura multiplicado por cien y dividido entre la altura inicial, se define como el “hinchamiento”. Durante el periodo de inmersión se coloca sobre cada muestra una sobre-carga de 10 libras de peso.

En algunas oportunidades no pueden ejecutarse los ensayos de CBR en cada una de las condiciones de humedad deseadas. En estos casos se recurre a ecuaciones de correlación como las siguientes:

Módulo Resiliente saturado = 20 a 30% del Módulo Resiliente del material en estado seco. Módulo Resiliente seco = 1.6 * Módulo Resiliente húmedo.

Tabla 4-1 Valores de CBR requeridos según el transito

| Numero de ejes de 8.2 ton. En el carril de diseño | Percentil a seleccionar para hallar el CBR de diseño |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <10 ⁴ | 60 |
| Entre 10 ⁴ a 10 ⁶ | 75 |
| >10 ⁶ | 87.5 |

Fuente: Instituto de Asfalto, (MS-1) 1,991, Tabla 7.8 Manual SIECA

4-1-3 Módulo Resiliente (Mr)

Los métodos de diseño más actualizados, tal como el AASHTO (93), exigen el empleo del valor de los "Módulos de Elasticidad (E)", por ser el resultado de ensayos fundamentales -científicos-, en sustitución del ensayo CBR, para caracterizar los materiales de sub-rasante, ya que este último ensayo se basa en un método de laboratorio totalmente empírico.

Módulo de Elasticidad en los materiales de sub-rasante y/o sub-rasante mejorada

Módulo Resiliente M

En los materiales que se emplean en la construcción de sub-rasantes y/o sub-rasantes mejoradas, el módulo de elasticidad se denomina "**Módulo Resiliente**

(Mr)", que es el resultado de un ensayo dinámico (AASHTO T-274), y se define como la relación entre el esfuerzo repetido masivo (\emptyset) y la deformación axial recuperable (Σa).

$$Mr = \emptyset d / \Sigma a$$

El ensayo se realiza en una celda triaxial equipada con sistemas capaces de transmitir cargas repetidas. La briqueta de ensayo tiene generalmente 10 cm de diámetro por 20 cm de altura y se realiza sobre muestras representativas, bajo condiciones de esfuerzo y humedad similares a aquéllas a las que se encuentren los materiales en las épocas predominantes en el año, es decir las estaciones climatológicas durante las cuales se obtendrán valores significativamente diferentes. Estos resultados permitirán establecer relaciones entre diferentes módulos resilientes y contenidos de humedad, que puedan ser utilizadas conjuntamente con estimaciones de "humedades en sitio" bajo el pavimento, para establecer valores de módulo resiliente para las diversas estaciones climatológicas.

Correlación de CBR y MR

Para CBR iguales o menores a 7.2%

$$MR = 1.500 * CBR$$

Para CBR mayores a 7.2% e iguales o menores a 20%

$$MR = 3.000 * CBR^{0.65} \text{ (psi)}$$

(b) Para CBR mayores a 20%

$$MR = 4.326 * \ln CBR + 241 \text{ (psi)}$$

Tabla 4-2 Módulo de Resiliencia en función del clima y la calidad de la sub-rasante

| Clima | Valores Aproximados de Módulos de Resiliencia (Mr) | | | | |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------|---------|-------|-----------|
| | Calidad Relativa del Material de Fundación | | | | |
| | Muy Pobre | Pobre | Regular | Buena | Muy Buena |
| Cálido - Húmedo | 2800 | 3700 | 5000 | 6800 | 9500 |
| Árido - Seco | 3200 | 4100 | 5600 | 7900 | 11700 |
| Valor de Mr en Libras por Pulgada Cuadrada (psi) | | | | | |

Fuente: (Ing. Gustavo Corredor, Apuntes de pavimentos, 2004)

Valor de MR en libras por pulgada cuadrada (psi)

Fuente. Ing. Luis Salamé R.: "Método de Diseño de Pavimentos Flexibles para Vías de Bajo Volumen de Tráfico", 1990.

Tabla 4-3 Valores aproximados de MR según la estación climática del año.

| Valores Aproximados de Módulos Resilientes (Mr) | | | | | |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|---------|-------|-----------|
| Región Climática | Calidad Relativa del Material de Fundación | | | | |
| | Muy Pobre | Pobre | Regular | Buena | Muy Buena |
| Muy Lluviosa | 2875 | 3700 | 5000 | 7000 | 11000 |
| Lluviosa | 3250 | 4100 | 5500 | 8000 | 14000 |
| Semi-lluviosa | 3625 | 4500 | 6000 | 9000 | 17000 |
| Semi-seca | 3940 | 4830 | 6420 | 9830 | 19500 |
| Pluvio-nublosa | 3250 | 4100 | 5500 | 8000 | 14000 |
| Valores de Mr en Libras por Pulgada Cuadrada (psi) | | | | | |

Fuente: (Ing. Gustavo Corredor, Apuntes de pavimentos, 2004)

Compactación: Para compactar la capa sub-rasante, el espesor de esta debe, escarificarse, homogeneizarse, mezclarse, conformarse y compactarse en su totalidad hasta lograr la densidad máxima según la AASHTO T180.

Valores de CBR que indican la calidad del material para sub-rasante:

Un CBR de 0-5 indica que la sub-rasante es mala y que se debe remover o tratar el suelo con productos estabilizadores.

Si el valor del CBR es de 5-10 indica que la sub-rasante es regular y que se debe estabilizar es decir, mejorar con productos estabilizadores. Si el valor del CBR es de 10-20 indica que el material existente es apto para ser usado como sub-rasante y se clasifica como sub-rasante buena.

Si el CBR está entre 20-30 el material es bueno, puede ser usado como sub-rasante y se clasifica como sub-rasante muy buena. (Metodo de Diseño de Pavimentos Flexibles para vias de bajo volumen de trafico., 1990)

4-2 Evaluación de la sub-base

- **Materiales de sub-base**

El material de sub-base deberá ser seleccionado y tener mayor valor CBR que el material de la sub-rasante y su espesor serán variable por tramos dependiendo de las condiciones y características de los suelos existentes en la sub-rasante el material para sub-base debe ser de tipo granular con las siguientes características:

El valor soporte CBR debe determinarse según la AASHTO T193 sobre muestra saturada según AASHTO T180. El tamaño de las piedras que tenga el material no debe ser mayor a 2/3 del espesor y los porcentajes que pasan los tamices número 40 y 200 deben ser según la AASHTO T11 Y T27 El índice de plasticidad debe determinarse según la AASHTO T90 Y el límite líquido según la AASHTO T89 con un equivalente de arena determinado por la AASHTO T176 El material debe estar libre de impurezas tales como basura, materia orgánica, terrones de arcilla o cualquier otro material que pueda ocasionar problemas específicos al pavimento.

- **Compactación**

El material de sub-base debe ser tendido en capas no mayores a 20 cm de espesor este debe conformarse y homogeneizarse agregándole la cantidad de agua que sea necesaria para lograr la compactación en su totalidad hasta lograr su densidad máxima por el método AASHTO T180

- **CBR para material de sub-base**

El material con CBR de 30-50 se considera apto para ser utilizado como material de sub-base ya que este debe ser de menor calidad que el suelo de base por lo que este tipo de suelo con este CBR se clasifica como sub-base buena.

4-3 Evaluación de la base

- **Materiales de base**

Los suelos A-2-4 y A-2-5 son adecuados como materiales de base cuando son compactados y drenados adecuadamente. Los suelos A-2-6 y A-2-7 con bajo porcentaje de finos (< 75-mm) son clasificados como buenas bases, mientras que estos mismos suelos con alto porcentaje de finos o IP mayores a 10, son considerados como bases de calidad cuestionable.

Subgrupos A-2-4 y A-2-5: Incluyen materiales granulares con 35 % o menos pasando la malla 200 y con la porción que pasa la malla 40 con características de los grupos A-4 y A-5. Incluye materiales con limo o IP en exceso de los límites del grupo A-1, y arena fina con limo no plástico en exceso de los límites del grupo A-3.

- **Suelos para bases buenas**

Subgrupos A-2-6 y A-2-7: Incluye materiales similares a los de los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que la porción fina contiene arcilla plástica de las características de los grupos A-6 o A-7. No, protegida mediante la colocación de un sello de tratamiento asfáltico superficial.

- **Tipos de materiales para capas de base**

Los materiales obtenidos directamente en los cortes de las minas o en las riberas de los ríos son económicos y permiten obtener unas sub-bases de malas a buenas, en función de su resistencia o valor CBR.

A medida que la capa se acerca a la superficie sobre la cual se aplicarán las cargas, sin embargo, se requieren materiales de mejor calidad, los cuales son normalmente obtenidos al procesar agregados extraídos de las márgenes de los ríos. El procesamiento permite modificar algunas de sus propiedades fundamentales, a saber: forma y tamaño, textura y distribución de tamaños. Este procesamiento significa un costo adicional, pero el aumento de sus propiedades mecánicas significa una disminución en sus espesores de diseño, por lo cual es una alternativa muy común en la ingeniería de pavimentos.

Los Materiales procesados derivan sus niveles de mayor resistencia (mayor CBR) mayor resistencia al corte. Fundamentalmente por la fricción interna que se logre entre los granos, y la cual, a su vez, es función de una serie de propiedades de ingeniería del agregado:

- **Distribución granulométrica.**

La distribución de tamaños es la propiedad más importante de un material que sea empleado en una capa de base o de sub-base, ya que permitirá un contacto grano a grano, garantizando así el desarrollo de un adecuado nivel de resistencia.

Un agregado que contenga pocos o ningunos finos logra su estabilidad por el contacto “grano a grano”. Normalmente son de baja densidad y muy permeables; sin embargo, debido a su naturaleza no cohesiva, son muy difíciles de trabajar en obra. Un agregado que contenga suficientes finos para llenar todos los vacíos entre las partículas o granos, también logrará su estabilidad por el contacto “partícula a partícula”, pero con una mayor resistencia al corte.

Su densidad será alta y su permeabilidad relativamente baja. Este material es moderadamente fácil de compactar, pero es el ideal desde el punto de vista de la estabilidad, ya sea que se encuentre en una condición confinada o no-confinada.

-Efecto de la granulometría y la densidad en la resistencia.

Las normas de construcción solo establecen un requisito de porcentaje de compactación como requisito de aceptación o rechazo de una base granular, ya que asocian esta sola propiedad como medida de la resistencia. Este criterio es válido siempre y cuando la mezcla en obra siempre reproduzca la distribución granulométrica del material “como ensayado”, lo cual no siempre es posible alcanzar debido a la variabilidad propia de todo proceso de construcción.

Las mezclas con exceso de finos siempre tienen menor resistencia que una mezcla con menor contenido de finos que ha sido compactada a la misma densidad.

-Resistencia mecánica

El cumplimiento de valores mínimos de resistencia CBR de un 80% para la piedra picada independientemente del tipo de tránsito, y de 60% y 80% para la grava triturada para tránsitos livianos y pesados, respectivamente.

-Permeabilidad.

La facilidad con que un material granular permite la evacuación del agua se define como su “permeabilidad” y es función de su granulometría, tipo de agregado grueso, tipo de “fracción ligante” y de su densidad o grado de compactación.

Esta ventaja de la permeabilidad es también reconocida en el Método AASHTO-93 para el diseño de pavimentos, cuando incorpora unos “coeficientes de drenaje” que potencian el empleo de mezclas más drenantes en la construcción de pavimentos. Es necesario, en consecuencia, balancear los criterios de máxima resistencia, normalmente asociados con máximas densidades, y la ventaja de disponer de materiales con suficiente permeabilidad.

También es bueno colocar un manto de arena, de un tamaño nominal máximo de 1/8”, en espesores entre 5 y 10 cm

4-3-1 Bases Granulares.

Material constituido por piedra de buena calidad triturado y mezclado con material de relleno o bien por una combinación de piedra y grava con arena o suelo en estado natural. Todos estos materiales deben ser clasificados para formar una base integrante de la estructura del pavimento su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión y todas sus propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto a los gruesos.

- **Material.**

Debe cumplir con el valor soporte CBR para piedra triturada y grava, compactación AASHTO T180 e hinchamiento según AASHTO T193. Material libre de impurezas y residuos orgánicos. La proporción de agregados retenidos en el tamiz número 4 no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión. El porcentaje que pasa el tamiz número 200 no debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz número 40.

- **Compactación.**

Antes de tender el material de base el material de sub-base debe tener la compactación especificada. Cuando el espesor de base sea mayor a 20cm la compactación debe hacerse por capas siempre que estas no sean mayores a 20 ni menores a 10cm y humedecer la superficie entre capas para garantizar la adhesión entre capas y así evitar deslizamiento.

Los suelos A-2-4 y A-2-5 son adecuados como materiales de base cuando son compactados y drenados adecuadamente. Los suelos A-2-6 y A-2-7 con bajo porcentaje de finos (< 75-mm) son clasificados como buenas bases, mientras que estos mismos suelos con alto porcentaje de finos o IPs mayores a 10, son considerados como bases de calidad cuestionable. Una vez compactado debe alcanzar un CBR al 95 % de compactación Pròctor modificado, mínimo 50%, método AAHTO T-180. Tamaño máximo de agregado: 2”.

- **Valores de CBR que indican la calidad del material que se debe colocar en la base.**

Un suelo con un CBR de 50-80 se considera un suelo apto para ser utilizado como base sin embargo esto está en función del tránsito y de la importancia de la carretera por lo que se considera como base buena.

Si el valor del CBR del material es de 80-100 se considera base muy buena y se utiliza en caso que la carretera tenga un alto volumen de tránsito.

4-3-2 Estabilización de Bases.

La estabilización de bases es uno de los procedimientos y técnicas más usadas para mejorar los suelos de baja capacidad soporte y mejorar sus propiedades fisicomecánicas. Cuando el tránsito no adquiere importancia, hace las veces de capa de rodadura, permitiendo grandes economías en los programas viales. La dosificación del cemento se calcula como porcentaje en peso del material seco, y la humedad de la tierra durante el apisonamiento puede ser del 18 % base húmeda.

Tabla 4-4 Propiedades que deben cumplir las bases de material estabilizado

| Capa | Resistencia a compresión a los 7 días (kg/cm ²) | CBR (%) |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------|
| Sub-base | 3.5 a 10.5 | 20 a 60 |
| Bases para vías de tránsito ligero | 7 a 14 | 50 a 150 |
| Bases para vías de tránsito pesado | 21 a 56 | 200 a 600 |

Fuente: (Ing. Gustavo Corredor, Apuntes de pavimentos, 2004)

Metodos de estabilizacion : "Estabilización Química", que se refiere al cambio de las propiedades del suelo por efectos químicos motivado a la combinación de ciertos aditivos tales como los cementos, cal y aceites sulfonados.

4-3-2-1 Estabilización mecánica

Es el mejoramiento de los materiales mediante su densificación con humedad adecuada, y en caso de ser requerido, se complementa con la incorporación de un material adicional este procedimiento depende de las características de los materiales tales como: granulometría, plasticidad, trabazón de las partículas y cohesión.

Si se trata de lograr una superficie resistente en una grava limpia, ésta deberá mezclarse con un suelo fino y plástico que proporcione cohesión ("pega")

Es decir, se debe aumentar la plasticidad. Un suelo de granos redondeados y de poca trabazón puede hacerse más estable y resistente si se mezcla con otro suelo de granos angulares y gradados que proporcione buena trabazón. La Plasticidad de un material puede reducirse con la adición de un suelo de baja plasticidad.

4-3-2-2 Bases Estabilizadas con Cemento

El "suelo cemento" es una simple mezcla íntima de suelo pulverizado con cantidades medidas de cemento Portland Tipo I y agua, compactada a alta densidad. La cantidad de cemento empleada, según el procedimiento de diseño, debe ser igual o mayor al 5% en peso del material

Al hidratarse el cemento, la mezcla se convierte en un material resistente y durable, diferente de cada uno de sus componentes y que ha probado su excelencia al ser empleado en la construcción de carreteras.

Suelos mejorados con cemento

Es aquel tratamiento que se hace generalmente a los suelos A-1 ó A-2 (granulares) con el fin de mejorar su capacidad de soporte y reducir su índice de plasticidad, pues aunque en su forma original cumplen con algunas de las especificaciones exigidas, requieren la adición de bajos porcentajes de cemento que lo transforman en suelos estables y resistentes que llenarán las condiciones contempladas en el proyecto.

Diseño de mezclas de suelo mejorado con cemento

Este tipo de estabilización se diseña mediante la aplicación del ensayo de CBR a la mezcla elaborada, ya que el efecto del cemento es solo la reducción de la plasticidad y el incremento relativo de la resistencia.

En el diseño se requieren los siguientes requisitos

En el diseño de la mezcla de suelo con cemento se debe conocer La cantidad de cemento a ser agregado al suelo, La cantidad de agua a ser incorporada a la mezcla y La densidad a ser alcanzada en la compactación.

Requisitos de los materiales

-Cemento:

El cemento Portland Tipo I, que es el que se comercializa en Venezuela en forma convencional en sacos de 42,50 kg, es el adecuado para el empleo en mezclas de suelo cemento. El cemento deberá cumplir con lo dispuesto en AASHTO M-85 o ASTM C-150.

La cantidad de cemento a utilizar será la mínima requerida para obtener una capa de base cuya resistencia a la compresión simple sea no menor de 21 kg/cm² a los 7 días de edad.

Inmediatamente después de realizada la compactación el contratista y el ingeniero realizarán pruebas de compactación con densímetro nuclear, cuyos resultados no deberán ser menor que el 98% de la densidad de laboratorio obtenida por AASHTO T-180 (Proctor modificado).

Agua:

El agua debe ser preferiblemente potable, cualquier agua limpia y libre de cantidades excesivas de álcalis, ácidos o materia orgánica.

Suelo:

Cualquier tipo de tierra) pueden ser mezclados satisfactoriamente con cemento. Las excepciones son los suelos orgánicos, arcillas muy plásticas (expansivas) y arenas inertes. En caso de duda sobre un suelo debe realizarse el ensayo ASTM D 4318 que permite identificar estos suelos inconvenientes.

Generalmente los suelos gravo-arenosos A-1 y A-2 con un 10 a 35% de limo y arcilla y 55% o más pasante el tamiz # 4 son los más adecuados y requieren menos cantidad de cemento para una adecuada estabilización.

Los suelos arenosos A-3, de grano uniforme y poco contenido de finos, como son las arenas de médano o playa, dan también excelentes resultados al ser mezclados con cemento, pero requieren un mayor tenor de cemento.

Las cantidades correctas de cemento y agua, así como la densidad y resistencia requerida, se establecen a través de los métodos de diseño de mezclas, y que siguen los criterios de la PCA o de la AASHTO. Cada método de diseño de mezclas está asociado con el correspondiente método de diseño de pavimentos, es decir, si se diseña la mezcla por la PCA el diseño de pavimentos debe hacerse siguiendo el método de la PCA, y si la mezcla se diseña según el criterio de la AASHTO.

-Método de dosificación por la AASHTO

La mezcla diseñada por AASHTO se ejecuta normalmente aplicando la energía de compactación modificada, y simplemente el diseño se ejecuta sobre mezclas con diferentes contenidos de cemento, sometidas a la compresión simple después de 7 días y cuatro horas de curado, y se selecciona el contenido de cemento que arroje una resistencia acorde con la que el proyectista exigirá en su diseño estructural.

Método basado en la clasificación de los materiales.

El método de diseño más sencillo que puede utilizarse es aquél que se fundamenta en los ensayos más elementales: granulometría por tamizado y límites de Atterberg. Ambos tipos de ensayo permiten clasificar el material en un grupo determinado y, en función del grupo se estima un porcentaje de cemento.

Tabla 4-5 Porcentaje de cemento para la estabilización según el tipo de material

| Clasificación AASHTO | Clasificación ASTM | Contenido de cemento % en peso |
|----------------------|------------------------|--------------------------------|
| A-1-a | GW, GP, GM, SW, SP, SM | 3-5 |
| A-1-b | GM, GP, SM, SP | 5-8 |
| A-2 | GM, GC, SM, SC | 5-9 |
| A-3 | SP | 7-11 |
| A-4 | CL, ML | 7-12 |
| A-5 | ML, MH, CH | 8-13 |
| A-6 | CL, CH | 9-15 |
| A-7 | MH, CH | 10-16 |

Fuente: PCA, Asociación de Cemento Portland.

Valores tomados del método general de dosificación de la PCA y sus valores corresponden a los sugeridos para la ejecución de los ensayos de durabilidad.

(PCA, Asociación de Cemento portland)

Escarificación: Los suelos que van a ser estabilizados con cemento deben ser escarificados previamente para lograr un buen mezclado con el cemento. Los suelos arenosos son fácilmente pulverizables mientras que los suelos arcillosos son más difíciles, especialmente cuando están muy secos o muy húmedos.

La humedad del suelo es un factor muy importante en esta operación. Algunos suelos que en estado seco son difíciles de pulverizar, en estado húmedo se pulverizan fácilmente y por el contrario algunos suelos lo hacen más fácilmente cuando están secos. Las especificaciones exigen que el suelo sea pulverizado de tal forma que, en el momento de iniciar la compactación, el 100% de la mezcla de suelocemento pase por el tamíz de 1 pulgada (25 mm) y al menos un 80% pase por el tamíz N° 4 (4.74 mm).

En estos cálculos no se tomará en cuenta el agregado pétreo, o sea, que lo requerido es que no haya más de un 20% de terrones de suelo mayores que el tamíz N° 4 y que además estos terrones no tengan un tamaño mayor de una pulgada.

Humedad de mezclado: En los suelos arenosos el contenido de humedad para mezclarlo es generalmente igual, o ligeramente inferior al óptimo para compactación, mientras en los suelos arcillosos la humedad deberá ser ligeramente superior al óptimo. Si el suelo está muy húmedo generalmente será necesario airearlo para secarlo antes de distribuir el cemento.

Preparación de la superficie: Es muy importante recordar la relación de esponjamiento entre suelo suelto y compactado, de modo de que la cantidad de material extendido logre el espesor de proyecto una vez compactado.

Precompactar el material de préstamo para permitir el paso de los equipos de distribución del cemento y de mezclado y pulverización del suelo.

Distribución del cemento: La distribución del cemento será a granel, o en sacos, dependiendo de la disponibilidad de equipos. Es preferible, con el fin de alcanzar rendimientos adecuados al equipo de mezclado, el empleo de distribuidores de cemento.

Compactación

Las mezclas de suelo cemento, deben ser compactadas al 95% de la densidad del Proctor Modificado (AASHTO T- 180). La densidad de comparación debe ser realizada en muestras representativas de la mezcla tomadas en la vía cuando se vaya a iniciar la compactación. En caso de que el material tenga agregados granulares superiores a $\frac{3}{4}$ " de pulgada deberá reemplazarse su peso por uno equivalente del mismo material comprendido los tamices $\frac{3}{4}$ " y # 4.

La humedad de la mezcla al iniciar la compactación debe ser generalmente superior a la óptima para prevenir la pérdida de humedad por evaporación. En caso de que haya pérdidas deberá reponerse la humedad con riegos ligeros de agua. El equipo de distribución de agua deberá estar en perfecto estado y ser capaz de distribuir el agua uniformemente sobre la superficie.

El equipo de compactación depende del material empleado. El tipo más común es la "pata de cabra" si el material es arcilloso; sin embargo, pueden utilizarse aplanadoras de rodillos metálicos, compactadoras de neumáticos o vibratorias; estos equipos dan muy buenos resultados en suelos granulares no plásticos.

El espesor máximo que se puede compactar en una sola capa depende del equipo empleado, pero generalmente se limita a un máximo de 30 cm.

Las mejores compactaciones se logran cuando el suelocemento se compacta inmediatamente después de terminado el mezclado. Al procederse en esta forma las densidades se obtienen más rápidamente, hay menor evaporación de agua y el rendimiento aumenta.

No deben transcurrir mas de 60 minutos entre el final del tendido y la conformacion y el inicio de la compactacion. Realizada la compactacion se debe comprobar la resistencia a la compresion según la norma ASTM D-1632 y D-1633.

Curado

El procedimiento usualmente recomendado es cubrirlo con un riego de asfalto líquido ya sea RC-250, ó una emulsión asfáltica, aún cuando también puede emplearse cualquier otro material que cumpla la misma función, tales como paja o tierra húmeda, o puede recurrirse al procedimiento de riego periódico con un camión cisterna. Cuando se vaya a emplear el riego asfáltico, debe limpiarse previamente la superficie del suelocemento, lo cual se hace por medio de una escoba mecánica, muchas veces complementado por un compresor de aire.

Para lograr la resistencia requerida el curado debe realizarse en forma eficiente, de lo contrario la resistencia puede disminuir hasta un 40%.

4-3-3-3 Estabilizaición con Cal.

Al igual que el cemento el proposito es mejorar las características naturales del suelo de modo que aumente su capacidad para resistir los efectos inducidos por el tránsito (esfuerzo de corte) y los cambios volumétricos en condiciones diferentes de clima.

La cal se adapta perfectamente en la mayoría de los casos para lograr resultados positivos, y su empleo suele ser conveniente por tratarse de un producto de costo moderado, de fácil manejo, así como, en general, de producción fácil y abundante. La incorporación de cal reduce las características plásticas de los suelos, haciéndolos más friables y aumentando relativamente su valor soporte, acción que se ha demostrado continúa en función del tiempo.

Es conveniente que al utilizar cal para estabilizar suelos, se realicen pruebas de laboratorio que permitan determinar el contenido máximo que se puede utilizar sin que se produzcan agrietamientos en las muestras, ya que este comportamiento es el que se obtendría en la carretera. La cal permite que los materiales estabilizados obtengan algunas condiciones de beneficio como la impermeabilidad, disminución de los límites de consistencia y aumento del CBR, en el caso de la cal es difícil llegar a tener un material rígido como con el cemento ya que la reacción química de la cal es más lenta.

Materiales usados en la estabilización de suelo-cal

Suelos: En general casi todos los tipos de suelos son susceptibles de estabilizar con cal. Tanto los suelos de granulometría fina (100% pasante el tamiz No. 10) como aquellos más gruesos con algún contenido de fino, pueden mejorar sus características con la incorporación de cal. Suelos altamente granulares, con arcilla activa, cuyas variaciones volumétricas con el agua reducen la capacidad portante del mismo, han sido considerablemente mejorados mediante el tratamiento con cal.

Influencia de la cal en las características de los suelos.

La cal generalmente produce:

- Una disminución en la densidad de los suelos.
- Reducción en la plasticidad.
- Aumento en la capacidad soporte y Resistencia al corte.
- Reducción del hinchamiento.

Límites de plasticidad

Una de las funciones más importantes de la cal es que modifica la plasticidad del suelo en forma bastante apreciable. Para suelos con Índices Plásticos (IP) inferiores a 15, la cal incrementa el Límite Líquido de forma que el IP experimenta un ligero incremento. Para suelos más plásticos (IP >15) la cal generalmente reduce el Límite Líquido y aumenta el Límite Plástico, traduciéndose en una disminución apreciable del Índice Plástico.

Requisitos de la cal

La cal hidratada debe cumplir con lo establecido en AASHTO M-216 las cantidades de cal pueden variar entre 2% y 6% en peso del material a estabilizar. El contenido de sólidos debe ser un mínimo del 87% en masa de óxidos de calcio y magnesio. El porcentaje retenido del residuo en masa debe cumplir con lo indicado en la tabla según el tamaño de los tamices:

Tabla 4-6 Porcentaje residual retenido de cal hidratada

| Tamaño del tamiz | % máximo retenido en masa |
|-------------------------|----------------------------------|
| 3.35mm (No.16) | 0.2 |
| 0.600mm (No.30) | 4 |

Fuente: (Ing. Gustavo Corredor, Apuntes de pavimentos, 2004)

4-3-3-4 Material bituminoso como estabilizador

El asfalto es el último producto resultado de la destilación del petróleo la combinación de suelos con asfalto mejora las condiciones de estabilidad y resistencia a la humedad, proporcionando mejor distribución de las cargas ocasionadas por el tránsito a las capas, la cantidad de emulsión asfáltica puede variar entre 4% y 8% y al utilizar asfálticos rebajados entre 3.5% a 7.5% con respecto al peso seco del material a estabilizar. (Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes, dirección general de caminos, 2000). En caso que el espesor de la base sea mayor a 15cm debe ser tendida en 2 capas.

Capítulo V

5. Procedimientos para la construcción de pavimento flexible Y pavimento rígido.

5-1 Procedimientos constructivos del pavimento flexible.

5-1-1 Diseño de las mezclas asfálticas

La determinación del porcentaje óptimo de asfalto que debe intervenir en la estabilización, depende básicamente del objetivo buscado. En el caso de suelos friccionantes, a los cuales el asfalto les brinda la cohesión que no tienen, lo que se intenta es obtener la máxima resistencia posible, lo cual se logra añadiéndoles el contenido óptimo de asfalto determinado por medio de algunos de los ensayos corrientes de estabilidad como el Hubbard-Field modificado, el Marshall para mezclas con asfaltos líquidos o el del penetrómetro de cono.

En el caso de suelos granulares de buena graduación, pero con finos excedidos de plasticidad, la estabilización con asfalto produce un buen medio para neutralizar su acción perjudicial y hacer apto el material para la construcción de bases. En este caso el ensayo más utilizado es el CB.R, con el cual se busca que la mezcla presente buena resistencia y a la vez estabilidad suficiente a la absorción cuando se somete a inmersión antes de la penetración.

Las especificaciones aceptan generalmente un CB.R de 80, previa inmersión en agua, para hacer aceptable la estabilización como capa de base de un pavimento semirrígido.

Se hace una mezcla cuidadosa que garantice la incorporación correcta del ligante. Se recuerda, sin embargo, que el mezclado no puede ser excesivo porque se traduce en pérdidas de resistencia. La mezcla no puede efectuarse si la temperatura ambiente es muy baja; usualmente se fijan límites de 12°C para estabilizaciones con asfalto líquido y 5°C si se utilizan emulsiones asfálticas.

Cantidad de cemento asfáltico. La cantidad de cemento asfáltico que debe aplicarse en la mezcla debe ser indicada de acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio y la fórmula de trabajo aprobada. La cantidad definida en la fórmula de trabajo deberá estar comprendida entre los rangos indicados en la siguiente tabla, la cantidad de aplicación debe mantenerse dentro de las tolerancias establecidas en la fórmula de trabajo y se debe comprobar por medio del ensayo AASHTO T 164. (Fonseca D. C., 2012).

Tabla 5-1 Cantidad de cemento asfáltico según ASTM D3515.

| Graduación designada y tamaño máximo nominal | | | | | |
|-----------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| A (50.8mm) | B(38.1mm) | C(25.4mm) | D (19 mm) | E (12.5mm) | F (9.5 mm) |
| 2" | 1 ½" | 1" | ¾" | ½" | ⅜" |
| 2-7 | 3-8 | 3-9 | 4-10 | 4-11 | 5-12 |

Fuente: (Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes, dirección general de caminos, 2000)

La cantidad de cemento asfáltico está dada en términos del porcentaje de la mezcla total la amplia diferencia en el valor de gravedad específica de la variedad de agregados, así como la gran diferencia en el porcentaje de absorción para los agregados, da como resultado un rango amplio para la cantidad de cemento asfáltico especificado, la cantidad de cemento asfáltico requerido para una mezcla dada debe ser determinada ejecutando los ensayos de laboratorios apropiados generalmente el contenido de asfalto esta entre 4 y 5%.

La viscosidad puede también medirse a 135°C (275°F), la cual es lo suficientemente alta para que el cemento asfáltico fluya bajo la fuerzas de la gravedad sin la necesidad de aplicar un vacío.

Preparación del asfalto: Calentar uniformemente el cemento asfáltico en tal forma que se provea un suministro continuo del sitio de almacenaje a la mezcladora. No se debe calentar el cemento asfáltico a temperatura de más de 175°C. Si la fórmula de control de mezcla requiere un aditivo para adherencia liquido estable al calor introdúzcase medido en las tuberías de transferencia del cemento asfáltico a una terminal a granel o a la planta revoltura. El aditivo debe ser inyectado en por lo menos el 80% del tiempo de transferencia o de revoltura, para obtener uniformidad.

La temperatura a la que se debe aplicar el cemento asfáltico debe ser la que corresponda a una viscosidad cinemática del mismo entre 0.15 y 0.19 centi Stokes, pero en ningún caso la temperatura de la mezcla a la salida de la planta deberá de exceder de 165°C o de la temperatura especificada en el diseño aprobado de la mezcla. (Rangel, 2012)

5-1-1-1 Propiedades de los agregados pétreos para el pavimento flexible

-El agregado mineral como componente de las mezclas asfálticas

El agregado es cualquier mineral, en forma de partículas, granos o fragmentos que, adecuadamente proporcionados en diferentes tamaños, conforman una mezcla asfáltica.

Los agregados convencionales son las arenas simplemente cernidas o lavadas, las gravas de río, naturales por tener sus granos redondeados al ser producto del tamizado del material del banco, o angulares por ser trituradas, y los provenientes de canteras como las calizas y los granitos cuyos granos son siempre productos de la trituración y cernido del material obtenido de la voladura de los bancos y las escorias de acería. Los agregados conforman aproximadamente entre el 90% y 95% del total en peso de la mezcla y sus características físicas y mecánicas son muy importantes ya que la resistencia total de la mezcla depende fundamentalmente del aporte de los granos.

-Graduación de la mezcla asfáltica

-Estructura granulométrica

La estructura granulométrica o granulometría se define como la distribución de tamaños del agregado que se empleara para formar una mezcla asfáltica. Es la característica más importante de los agregados ya que afecta la estabilidad y la trabajabilidad de las mezclas, y constituye por lo tanto, uno de los requisitos básicos de las especificaciones. Es importante conocer no solo la estructura granulométrica como un sistema integral sino algunos de sus componentes principales, tamaño máximo y tamaño nominal máximo; el tamiz #8, la fracción de tamaño arena y el tamiz #200.

Los agregados constituyentes de las mezclas asfálticas son polvillo triturado, arcilla, arena cernida piedra picada.

Proporcionamiento de los agregados: Los cuatro agregados deben ser combinados en una proporción de 43% polvillo, 14% arcilla; 18% arena cernida, y 25% piedra picada con estas combinaciones se satisface los límites de granulometría para la mezcla M19.

Los materiales pétreos para mezclas asfálticas están conformados por diferentes tamaños, los cuales se dividen por:

Agregado Grueso

Retenido en malla de 4.75 mm (# 4) ASTM D692

Retenido en malla de 2.38 mm (# 8) Inst. Del Asfalto

Retenido en malla de 2.00 mm (# 10) Manual HMA

Agregado Fino

Pasa malla de 4.75 mm (# 4) ASTM D1073

Pasa malla de 2.38 mm (# 8) Inst. Del Asfalto

Filler Mineral. Al menos 70% pasa malla 0.075mm ASTM D242

Tabla 5-2 Angularidad del agregado grueso

| Angularidad del agregado grueso | | |
|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Tránsito (10exp6 ESAL) | Profundidad desde la superficie <100mm | Profundidad desde la superficie >100mm |
| <0.3 | 55 | |
| <1 | 65 | |
| <3 | 75 | 50 |
| <10 | 85/80 | 60 |
| <30 | 95/90 | 80/75 |
| <100 | 100/100 | 95/90 |
| >100 | 100/100 | 100/100 |

Fuente: (SIECA, 2002)

95/90 “95% del agregado grueso tiene una cara fracturada y 90 % tiene dos caras fracturadas

Angularidad del Agregado Fino

Con esta propiedad se asegura un alto grado de fricción interna en la mezcla. Se define como el porcentaje de vacíos de aire en el agregado menor a 2.36 mm, levemente compactado. A mayor contenido de vacíos más caras fracturadas.

A mayor angularidad del agregado, mayor contenido de vacíos.

- Las arenas trituradas normalmente tienen valores superiores a 45.
- Las arenas no trituradas normalmente tienen valores inferiores a 42.

Tabla 5-3 Valores de angularidad del agregado fino

| Requerimientos para angularidad de agregados finos | | |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| Tránsito (10 ⁶ ESAL) | Profundidad desde la superficie < 100mm | Profundidad desde la superficie >100mm |
| <0.3 | - | - |
| <1 | 40 | - |
| <3 | 40 | 40 |
| <10 | 45 | 40 |
| <30 | 45 | 40 |
| <100 | 45 | 45 |
| ≥100 | 45 | 45 |

Valores mínimos de porcentajes de vacíos para agregados finos.

Fuente: (SIECA, 2002)

Requerimientos de partículas alargadas y chatas

Porcentaje máximo en peso

Contenido de Arcilla

•Se determina el porcentaje de material arcilloso presente en la fracción de agregado menor a 4.75 mm

Tabla 5-4 Requerimientos para el contenido de arena

| Tránsito (10exp6 ESAL) | Equivalente de arena mínimo |
|------------------------|-----------------------------|
| <0.3 | 40 |
| <1 | 40 |
| <3 | 40 |
| <10 | 45 |
| <30 | 45 |
| <100 | 50 |
| ≥100 | 50 |

Fuente: (SIECA, 2002)

Preparación del agregado. Si se usa un aditivo para adherencia que no sea líquido, ajústese la humedad del agregado por lo menos un 4% en peso del agregado mézclese el agregado para adherencia uniformemente con el agregado antes de introducir este en el secador o el tambor del secador. Úsese dispositivos calibrados para el pesaje o medición de la cantidad de aditivos y humedad introducida en el aditivo.

5-1-1-2 Transporte y carga de la mezcla

Durante el proceso de carga de la mezcla, se deberá evitar la segregación de los agregados debido a una excesiva altura de la compuerta de descarga respecto al camión de transporte o a una apertura parcial de las compuertas de descarga. La carga de los camiones deberá ser distribuida uniformemente evitando la formación de un solo cono de material que permita el desplazamiento del agregado grueso hacia el frente y la parte posterior de la palanca de volteo para lo cual, de preferencia las operaciones de carga se deberán efectuar tres partes moviendo el camión hacia adelante y hacia atrás

La mezcla debe ser transportada de la planta al lugar de su colocación por medio de camiones de volteo con palanganas metálicas limpias y lisas, cubiertos con lona u otro material que preserve la mezcla del polvo y la lluvia, disminuyendo la pérdida de temperatura durante el trayecto. Para la limpieza de las palanganas no se deberá usar derivados del petróleo que puedan contaminar la mezcla. La palangana debe ser drenada antes de cargar la mezcla.

Requisitos del clima

No se permite el esparcimiento de la mezcla cuando este lloviendo o cuando la superficie a recibir se encuentre húmeda o cuando la temperatura ambiente en la sombra sea menor de 4°C y la temperatura de la mezcla no cumpla con los requisitos indicados en la tabla anterior, de acuerdo con la temperatura de la superficie de la carretera.

Pavimentadoras: Las pavimentadoras deberán ser unidades auto contenidas y auto propulsadas con tornillos sin fin y planchas vibratorias ajustables al ancho total las cuales deben ser calentadas en todo su ancho. Los controles de alimentación deben ser automáticos y estar ajustados adecuadamente para mantener un espesor uniforme del material delante de la plancha vibratoria. La operación de la pavimentadora se debe efectuar a velocidades compatibles con la colocación uniforme y satisfactoria de la mezcla produciendo un alisado y textura en la superficie libre de segregaciones rasgaduras, desplazamientos o ranuras.

Preparación de la superficie

Antes de proceder a la colocación de la mezcla de concreto asfáltico se debe preparar la superficie y colocar un riego de liga para unir la superficie de pavimentos, bordillos, cunetas, pozos de visitas y demás estructuras.

En trabajos de recarpeteo, cuando se requiera la nivelación de la superficie existente el ingeniero residente aprobará la fórmula de trabajo a ser usada para la capa de nivelación. El espesor de cada capa de nivelación no debe exceder de 75mm. La capa de nivelación debe completarse antes de indicar las operaciones normales de pavimentación.

5-1-1-3 Colocación y tendido

La mezcla transportada a la carretera, debe colocarse y tenderse con maquina pavimentadora autopropulsada especial para este trabajo, que permita ajustar el espesor y el ancho, asegurando su esparcimiento uniforme en una sola operación en un ancho no menor de 3 metros. El concreto asfáltico debe ser colocado y compactado en el número de capas del espesor indicado en los planos o en su defecto conforme se indica en la siguiente tabla.

Tabla 5-5 Espesores de las capas de concreto asfáltico.

| Espesor total del concreto asfáltico | Numero de capas | Espesor de la capa superior en mm | | Espesor de la capa inferior siguiente en mm | | Espesor de todas las otras capas inferiores en mm | |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|--------|---------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------|--------|
| | | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo |
| <60 mm | 1 | | | | | | |
| 75 mm | 2 | 35 | 40 | 35 | 40 | | |
| 90-120 mm | 2 | 45 | 60 | 45 | 75 | | |
| >135mm | | 45 | 60 | 45 | 75 | 45 | 120 |

Fuente: (NIC-2000, 2012).

Cuando en los planos aparezca que se debe colocar una tela de refuerzo entre las capas de concreto asfáltico el espesor total del concreto asfáltico arriba de dicha tela será considerado el espesor total del concreto asfáltico para propósitos de colocación y compactación. El contratista tendrá la opción de colocar una sola capa de 75mm de espesor. Se deberán colocar al menos dos capas si el espesor total es de 135 mm. Se deberán colocar 3 capas si el espesor esta entre 135 mm y 270 mm se deberán colocar cuatro capas para espesores mayores de 270mm.

Tabla 5-6 Temperatura para la colocación de la mezcla de concreto asfáltico.

| Espesor de la capa | <50 mm | 50-75M | >75 mm |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------|--------|--------|
| Temperatura de la superficie de la carretera en | Temperatura mínima de colocación en °C | | |
| 4-7.9 | No se permitirá | 141 | 140 |
| 8-14.9 | 146 | 140 | 140 |
| ≥15 | 141 | 140 | 140 |

Fuente: (NIC-2000, 2012)

No se deben usar mezclas producidas en distintas plantas a menos que las mezclas hayan sido producidas basadas en la misma fórmula de trabajo, se estén utilizando agregados provenientes de la misma fuente y producción haya sido aprobada por el residente.

Las juntas longitudinales entre capa inferior y una capa superior sucesivas, incluyendo las capas de base estabilizadas si así fuera el caso no debe coincidir en su localización. La separación entre estas debe ser por lo menos 150mm. La junta longitudinal de la capa superior debe quedar a lo largo de la línea central de las carreteras con dos carriles o en las líneas que separan los carriles de carreteras de más de dos carriles

Procedimientos

La mezcla debe airearse suficientemente hasta que los solventes, en el caso de emplear asfaltos líquidos, se evaporan en una cantidad suficiente (generalmente un 50%) que permita la adecuada compactación

Si se emplean emulsiones asfálticas, la aireación se realiza hasta que la humedad sea 3 a 4% superior a la óptima del agregado solo.

Se extiende la mezcla con motoniveladora y se compacta, primero con rodillo liso y luego con neumático, hasta alcanzar la densidad exigida en las especificaciones.

Tiempo de aplicación de carga. La SHELL recomienda emplear un tiempo de 0.02 sg, que corresponde a una velocidad del vehículo de 50-60 km/hora, $T = T_{800} - T_{mezcla}$, Siendo T_{mezcla} la temperatura de la mezcla que es función de la temperatura Ambiente.

Con la temperatura media anual w-MAAT se va al punto medio entre los dos espesores mínimos y máximos de las capas asfálticas ya que en el proceso de diseño aún no se conocen los espesores, allí se obtiene una Temperatura de mezcla = 28°C, entonces, $T = 58 - 28 = 30^{\circ}\text{C}$

La tasa de aplicación deberá ser ajustada por temperatura a fin de que la cantidad a aplicar corresponda a 15°C.

El grado del cemento asfáltico es designado de acuerdo con la norma AASHTO M 20, AASHTO M 226 ó AASHTO MP 1.

Tabla 5-7 Elección de la temperatura de colocación en función de la temperatura de la vía.

| Espesor de capa compactada | <50mm | 50-75mm | >75mm |
|-------------------------------------------|-------------------------------------|---------|-------|
| Temperatura de la superficie de la vía °C | Temperatura mínima de colocación °C | | |
| 10-14.9 | 146 | 138 | 132 |
| 15-19.4 | 141 | 135 | 129 |
| 20-24.9 | 138 | 132 | 129 |
| 25-29.9 | 132 | 129 | 127 |
| ≥30 | 129 | 127 | 124 |

Fuente: (NIC-2000, 2012)

En ningún caso la mezcla de concreto asfáltico podrá ser calentada a una temperatura superior a la especificada en el diseño de la mezcla aprobada.

Compactación

Para las mezclas tradicionales se requerirá un porcentaje de compactación mínimo del 100% del promedio diario de por lo menos tres especímenes compactados de conformidad con el método AASHTO T 245 y estableciendo la gravedad específica de los especímenes compactados de conformidad con ASTM D 2726. Las mezclas deben ser uniformemente compactadas hasta lograr el 96% de compactación, gravedad específica máxima de mezclas asfálticas. La compactación de campo se debe comprobar de preferencia según el método nuclear ASTM D 2950. Con la aprobación del residente de la obra.

La compactación en el campo se debe de iniciar a una temperatura mayor que la correspondiente a una viscosidad del cemento asfáltico de 0.25pa-s (250 cs) pero nunca a una temperatura de 140°C la compactación se debe completar antes que la temperatura de la capa alcance los 85°C. Las operaciones de texturizado deberán finalizarse antes de que la temperatura de la superficie alcance los 65°C.

La operación de las compactadoras se debe mantener lo más próximo al equipo de esparcimiento del concreto asfáltico para lograr su operación dentro de los rangos de temperatura indicados

5-2 Procedimientos constructivos del pavimento rígido

En la descripción de los procedimientos constructivos se hará énfasis en la elaboración, transporte, colocación y vibrado de la mezcla de concreto hidráulico simple como estructura de pavimento rígido, apoyado sobre una base granular o estabilizada de buenas condiciones, aunque el pavimento de concreto simple no lleva acero de refuerzo se debe considerar en las uniones de días sucesivos de trabajo para garantizar la adherencia de la losa vieja con la nueva, además las actividades necesarias para la correcta construcción del pavimento

5-2-1 Diseño de mezclas de concreto hidráulico

La mezcla de concreto debe diseñarse de acuerdo con la Sub-sección 901 de las Especificaciones Generales de la AASHTO 1993. La mezcla diseñada deberá cumplir con los parámetros que se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 5-8 Composición del concreto de cemento portland para pavimento según la resistencia

| Relación agua/cemento máxima | Temperatura del concreto | Revenimiento | Tamaño de agregado AASHTO M43 | Resistencia a la compresión a los 28 días. | Resistencia a flexo tracción |
|------------------------------|--------------------------|--------------|-------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|
| 0.49 | 20-10 °C | 60±20 mm | No. 57 o 67 | 28 mpa | 4.5MPa |

Fuente: (NIC-2000, 2012)

En esta tabla se establecen una serie de parámetros que dependen del diseño de la mezcla sin embargo, también se debe tomar en cuenta la evaporación del concreto ya que los valores de temperatura no siempre serán constante todos los días de trabajo, los valores de revenimiento que se indican en la tabla están susceptibles a cambios según el rendimiento de los equipo de trabajo ya que de esto depende el diseño de la mezcla.

El Proporcionamiento de la mezcla se refiere al proceso de determinación de las cantidades de los ingredientes del concreto, usando materiales locales, para que se logren las características especificadas.

Un concreto adecuadamente proporcionado debe presentar las siguientes cualidades:

- Trabajabilidad aceptable del concreto fresco
- Durabilidad, resistencia y apariencia uniforme del concreto endurecido
- Economía

Estas cualidades se pueden alcanzar en la construcción de concreto sólo con la selección adecuada de los materiales y de las características de la mezcla (Abrams 1918, Hover 1998 y Shilstone, 1990).

5-2-1-1 Elección de las características de la mezcla

Antes que se pueda determinar las proporciones de la mezcla, se seleccionan sus características considerándose el uso que se propone dar al concreto, las condiciones de exposición, tamaño y forma de los elementos y las propiedades físicas del concreto (tales como resistencia a la congelación y resistencia mecánica) requeridas para la estructura. Las características deben reflejar las necesidades de la estructura.

Luego se proporciona la mezcla a través de datos de campo y estudios de laboratorio la primera etapa para el Proporcionamiento del concreto es la elección de la relación agua-material cementante apropiada para la resistencia y durabilidad necesarias. Las mezclas de concreto se deben mantener lo más sencillas posible, pues un número excesivo de ingredientes normalmente dificulta el control del concreto.

5-2-1-2 Dosificación, mezclado, transporte y manejo del concreto

-Dosificación

El agua y los aditivos líquidos se pueden medir con precisión tanto por volumen como también por masa. Las especificaciones normalmente requieren que los materiales se midan para revolturas individuales con la siguiente precisión: material cementante $\pm 1\%$, agregados $\pm 2\%$, agua $\pm 1\%$ y aditivos $\pm 3\%$.

-Requisitos de los agregados de la mezcla de concreto para el pavimento

Agregado fino. Deberá cumplir con los requisitos especificados en AASHTO M-6, agregado fino para concreto de cemento Portland. Las partículas que conformen el agregado fino deberán ser limpias, duras, resistentes, sanas, estables, libres de películas superficiales, de raíces y de restos vegetales. No contendrán otras sustancias nocivas que pudiesen perjudicar al concreto.

La cantidad de sales solubles aportada al concreto por el agregado fino, no deberá incrementar el contenido de sulfatos y cloruros del agua de mezcla más allá de los límites establecidos, considerando también las sales solubles del agregado grueso y los aditivos.

El agregado fino podrá estar constituido por arena natural o por una mezcla de arena natural y arena de trituración, en proporciones tales que permitan al concreto reunir las características y propiedades especificadas. Las exigencias granulométricas para el agregado fino se indican a continuación: (Steven H, 2004)

Tabla 5-9 Granulometría para agregado fino en mezclas de concreto hidráulico

| Numero de malla | % que pasa AASHT T27 y T11 |
|------------------------|-----------------------------------|
| 9.5 mm | 100 |
| No. 4 | 95-100 |
| No. 8 | 80-100 |
| No. 16 | 50-85 |
| No. 30 | 25-60 |
| No. 50 | 10-30 |
| No. 100 | 2-10 |

Fuente: (PCA, Diseño y control de mezclas de concreto, 2003).

El módulo de finura (MF) debe estar comprendido entre 2.3 y 3.1.

El material que pasa la malla de 0.075 mm (AASHTO T 11) debe ser de 3% como máximo, aunque esto puede generar sobrecostos excesivos en la obtención del agregado fino por lo que también se recomienda un porcentaje de agregado fino natural de 5% que pasa la malla 200, y un 7% para triturado.

El equivalente de arena (AASHTO T 175) deberá ser mínimo de 75%.

La Sanidad (después de 5 ciclos) debe arrojar un Porcentaje de pérdida de 10% máximo, cuando se usa SO_4Na_2 y de 15% máximo cuando se usa SO_4Mg .

Agregado grueso: este deberá cumplir con los requisitos especificados en AASHTO M 80, la que indica lo siguiente: Agregado grueso para concreto de cemento Portland.

Las partículas que lo constituyen serán duras, limpias, resistentes, estables, libres de películas superficiales, de raíces y de restos vegetales y no contendrán cantidades excesivas de partículas que tengan forma de laja o de aguja. La cantidad de sales solubles aportada por el agregado grueso al concreto, no debe sobrepasar los límites establecidos, considerando también las sales solubles del agregado fino y aditivos, pero no el agua de mezcla.

El agregado grueso podrá estar constituido por grava (canto rodado), grava partida, roca triturada, o por mezcla de dichos materiales en proporciones tales que satisfagan las exigencias especificadas.

Para la elaboración del concreto se recomienda que entre más grande sea el agregado grueso mejor, el concreto será más económico y menos susceptibles a los cambios volumétricos, la AASHTO M43 propone la malla No. 57 y la No. 67 sin embargo esto también se podría evaluar a través de una curva granulométrica.

En el caso de tamaños nominales que excedan de 38 mm (1 1/2”), el agregado grueso estará constituido por una mezcla de dos fracciones y solo se permitirá una fracción cuando el tamaño máximo nominal no supere 38 mm.

Debe consistir en grava o piedra triturada, trituradas parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado, que llene los requisitos establecidos incluyendo los requisitos de desgaste o abrasión y la limitación de partículas planas y alargadas.

En losas sobre el terreno sin refuerzo, el tamaño máximo del agregado no debería exceder un tercio del espesor de la losa. Se pueden usar tamaños menores cuando la disponibilidad o alguna consideración económica lo requieran.

En el concreto de alta resistencia (mayor que 700 kg/cm² o 70 MPa [10,000 lb/pulg²), el tamaño máximo es cerca de 19 mm (3/4 pulg.). Las resistencias más elevadas también se pueden lograr con el empleo de piedra triturada en vez de grava redondeada.

Absorción: Prueba que se realiza a los materiales pétreos para determinar la cantidad de agua que pueden retener, Generalmente la absorción se realiza a materiales retenidos en la malla 3/8” Después de sumergir durante 24 horas se seca superficialmente y se obtiene el peso húmedo

El porcentaje de absorción es: $A = \frac{P_{hum} - P_{seco}}{P_{seco}} \%$ Ecuación 5.1

Cemento Portland: El cemento a utilizar en el proyecto debe ser de bajo calor de hidratación y por tanto se establece como **Tipo GU**.

Contenido de material cementante: Un contenido mínimo de 335 kg de material cementante por metro cúbico de concreto (564 lb por yarda cúbica) y (2) sólo la cantidad suficiente de agua de mezcla para que se logre la consistencia deseada sin exceder la relación agua-material cementante máxima. La temperatura de la mezcla durante la colocación es tal, que conjugada con las condiciones climáticas, no favorece el agrietamiento ni reduce la resistencia del concreto endurecido.

La tasa de evaporación del concreto debe ser menor a 1 Kg/m²/h

Temperatura ambiente: 35°C

•Temperatura del concreto: 34° C

•Humedad relativa: 50%

•Velocidad del viento: 16 Km/h

5-2-1-3 Relación entre Resistencia y Relación Agua-Material Cementante

La resistencia (compresión o flexión) es el indicador de la calidad del concreto más universalmente utilizado. A pesar de ser una característica importante, otras propiedades, tales como durabilidad, permeabilidad y resistencia al desgaste se reconocen hoy en día como de igual importancia o, en algunos casos, de mayor importancia, especialmente cuando se considera el ciclo de vida de la estructura. La resistencia y propiedades del concreto es proporcional a la relación agua cemento o agua-material cementante. La resistencia en cualquier edad es función tanto de la relación agua-material cementante original y del grado de hidratación del material cementante. La importancia del curado temprano y minucioso se reconoce fácilmente.

Resistencia a la compresión: La resistencia a compresión especificada (característica), a los 28 días, es la resistencia que el promedio de cualquier conjunto de tres ensayos consecutivos de resistencia debe lograr o superar. El ACI 318 requiere que el \bar{f}'_c sea, por lo menos, 180 kg/cm² o 17.5 MPa (2500 lb/pulg²). Ninguna prueba individual (promedio de dos cilindros) puede tener resistencia de 36 kg/cm² o 3.5 MPa (500 lb/pulg²) inferior a la resistencia especificada. (ACI)

Resistencia a la flexión: La resistencia de diseño del concreto a la tensión por flexión (S'_c) o el módulo de ruptura especificado a los 28 días, se establece para el proyecto en 640 psi (aproximadamente 45 kg/cm²). Esta resistencia se verificara en especímenes moldeados durante el colado del concreto, correspondientes a vigas estándar de quince por quince por cincuenta (15 x 15 x 50) centímetros, sin embargo, Se debe establecer claramente si el concreto se aceptara por resistencia a la flexión o a la compresión lo cual es obligación del contratista y el dueño del proyecto.

5-2-1-4 Relación Agua-Material Cementante

La relación agua-material cementante es simplemente la masa del agua dividida por la masa del material cementante (cemento portland, cemento adicionado, ceniza volante, escoria, humo de sílice y puzolanas naturales). La relación agua-material cementante elegida para un diseño de mezcla debe ser el menor valor necesario para resistir a las condiciones de exposición anticipadas.

Tabla 5-10 Relación agua-cemento y resistencia a la compresión

| Resistencia a la compresión a los 28 días | | Relación agua-material cementante en masa | | | |
|-------------------------------------------|-----|-------------------------------------------|------|----------------------------|------|
| | | Concreto sin aire incluido | | Concreto con aire incluido | |
| Kg/cm ² | MPa | | | | |
| 450 | 45 | 0.38 | 0.38 | 0.31 | 0.3 |
| 400 | 40 | 0.43 | 0.42 | 0.34 | 0.34 |
| 350 | 35 | 0.48 | 0.47 | 0.4 | 0.39 |
| 300 | 30 | 0.55 | 0.54 | 0.46 | 0.45 |
| 250 | 25 | 0.62 | 0.61 | 0.53 | 0.52 |
| 200 | 20 | 0.7 | 0.69 | 0.61 | 0.6 |
| 150 | 15 | 0.8 | 0.79 | 0.72 | 0.7 |

Fuente: (PCA, Diseño y control de mezclas de concreto, 2003).

La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo por 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23).

La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de 19 a 25 mm. Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3.

Contenido de Agua

El contenido de agua se influencia por un gran número de factores: tamaño, forma y textura del agregado, revenimiento, relación agua-material cementante, contenido de agua, tipo y contenido de material cementante, aditivos y condiciones ambientales se puede reducir aproximadamente 10 kg/m³ (20 lb/yd³) para el agregado subangular, 20 kg/m³ (35 lb/yd³) para grava con algunas partículas trituradas y 25 kg/m³ (45 lb/yd³) para grava redondeada, para que se obtenga el revenimiento enseñado. En el ajuste de las mezclas, para un mismo revenimiento, una disminución de 1% en el contenido del aire aumentará la demanda de agua en cerca de 3 kg por metro cúbico (5 lb por yarda cúbica) de concreto.

Requisitos para la clase y resistencia del concreto. El concreto de cemento hidráulico para pavimentos debe ser como mínimo clase 24.5 (3500) con una resistencia a la compresión AASHTO T22 (ASTM C 39) promedio mínimo de 24.5 MPa (3500psi) y una resistencia a la flexión AASHTO T 97 (ASTM C 78) promedio mínima de 3.8MPa (350psi), determinadas sobre especímenes preparados según AASHTO T 126 (ASTM C 192) Y T 23 (ASTM C 31) ensayados a los 28 días cuando en los planos y disposiciones especiales no se indique la clase, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto deben usarse los valores que se indican a continuación. Para pavimentos de carreteras principales y vías urbanas principales con un tránsito promedio diario anual mayor de 5000 y con un tránsito pesado promedio diario arriba del 20%.

Debe usarse un concreto de clase 28 (4000) o mayor con resistencia a la flexión AASHTO T 97 (ASTM C 78) promedio mínima de 4.5MPa (650 psi) o mayor que llene todos los requisitos de la siguiente tabla.

Tabla5-11 Composición del concreto de cemento hidráulico para pavimentos

| Relación Agua/Cemento | Temperatura del Concreto | Asentamiento AASHTO T-119 | Contenido de Aire Mínimo | Tamaños de Agregados AASHTO M-43 | Resistencia a la Compresión AASHTO T-22 | Resistencia a la Flexión AASHTO T-97 |
|-----------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| 0.49 | 20°C - 10°C | 40±20 | 4.50% | N° 57 o N° 67 | 28Mpa (4000psi) | 4.5MPa (650psi) |

Fuente: (Aguilar, 2014)

Si se usa agregado de tamaño nominal máximo 3/8” el contenido mínimo de aire es de 5%

El concreto debe fabricarse para cumplir una resistencia a flexión según ASTM C 78

Si se utiliza la resistencia a compresión, ésta debe correlacionarse con la resistencia a flexión

$$MR = k\sqrt{f'_c}$$

Equipo para la construcción del pavimento.

Estará integrado por una extendedora que dejara el concreto fresco repartido uniformemente; una terminadora transversal con elementos de enrase, compactación por vibración y alisado transversal; y una terminadora longitudinal que realice el alisado en dicho sentido.

Los vibradores superficiales deberán tener una frecuencia no inferior a tres mil quinientos (3,500) ciclos por minuto y los internos de cinco mil (5,000) ciclos por minuto.

Preparación de la Sub-rasante

Las fisuras, asentamiento de la losa y fallas estructurales frecuentemente son resultantes de la preparación inadecuada y de la mala compactación de la sub-rasante. La sub-rasante sobre la cual se vaya a colocar una losa debe ser bien drenada, con capacidad de soporte uniforme, nivelada o adecuadamente inclinada y libre de césped, materia orgánica e hielo. Las tres mayores causas de falta de uniformidad de soporte son:

1-presencia de suelos suaves, inestables y saturados o suelos pedregosos, (2) Relleno sin la compactación adecuada y (3) Suelos expansivos. El soporte uniforme no se puede lograr solamente vertiéndose material granular sobre el área suave.

Las áreas suaves o con suelos saturados y puntos duros (pedregosos) se deben excavar y rellenar con un suelo similar a la sub-rasante circundante o con material granular tal como la arena, la grava o piedra triturada, caso no haya disponibilidad de un suelo similar, a fin de prevenirse la figuración por asentamiento y por falta de soporte. Todos los materiales de relleno se deben compactar para proporcionar el mismo soporte uniforme del resto de la sub-rasante. Durante la preparación de la sub-rasante, se debe recordar que el suelo sin alteración generalmente proporciona un mejor soporte para losas que el material compactado.

Los suelos expansivos, compresibles y potencialmente problemáticos se deben evaluar por un ingeniero geotécnico y se puede requerir un diseño especial de la losa. La sub-rasante se debe humedecer con agua antes de la colocación del concreto, pero no debe contener charcos.

Preparación de la base o sub-base

Colocar y compactar, a prácticamente la densidad máxima, una capa de 100 mm (4 pulg.) de espesor de material granular, tal como arena, grava, piedra triturada o escoria. Si se necesita una sub-base más espesa, el material se debe compactar en capas finas con cerca de 100 mm (4 pulg.), a menos que pruebas determinen que la compactación de una capa más espesa sea posible. Proporcionar drenaje para la sub-base granular, previniendo la acumulación de agua debajo de la losa.

Preparación de la superficie existente.

La mezcla no se extenderá hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los planos o definidas por el Contratante. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias establecidas en la especificación de la unidad de obra correspondiente, se corregirán de acuerdo con lo establecido en ella, a plena satisfacción del Contratante.

Cuando se emplee el método de construcción con formaletas fijas, se controlara que su altura libre corresponda efectivamente al espesor de diseño de las losas.

Antes de verter el concreto, se saturara la superficie de apoyo de las losas sin que se presenten charcos o, si el proyecto lo contempla.

Se cubrirá con papel especial o material plástico con traslapes no inferiores a ciento cincuenta milímetros (150 mm) y plegándose lateralmente contra las formaletas, cuando estas se utilicen. El traslape se hará teniendo en cuenta la pendiente longitudinal y transversal, para asegurar la impermeabilidad, es necesario tener claro que el método a utilizar será el que resulte más económico en este caso el más recomendable es la saturación de la superficie ya que incurre a menos costos que los demás.

Todo el concreto debe ser colocado y terminado por pavimentadoras de concreto deslizante, donde es impráctico o no es posible el empleo de este equipo, en cuyo caso se emplea procedimiento de formaleta fija. El concreto proveniente de la planta mezcladora se descarga directamente frente la Pavimentadora, sobre superficie previamente humedecida de donde se esparce a lo ancho o franja de pavimento con el gusano o tornillo sinfín de la propia Pavimentadora.

El contratista debe hacer arreglos necesarios en tiempo para no retrasar la entrega y la colocación del concreto. Un intervalo de 45 minutos en colocación de cualquiera 2 bacheadas o vertidas constituirá causa suficiente para detener operaciones de pavimentación.

La Pavimentadora debe ser capaz de realizar el enrasado y compactado del concreto sin causar segregación, produciendo una sección compacta y homogénea con un acabado solo pendiente del afinamiento manual de pequeñas irregularidades, el que se hace con llanas metálicas de tamaño suficiente para alcanzar la parte media de la sección transversal del pavimento.

5-2-2 Mezclado del concreto

Las mezcladoras no se deben cargar más que sus capacidades y se deben operar en la velocidad de mezclado recomendada por el fabricante. El periodo de mezclado se debe medir a partir del momento que todo el cemento y agregados estén en el tambor y desde que toda el agua sea adicionada antes que transcurra un cuarto del tiempo de mezclado (ACI 304R-00)

Revenimiento

La trabajabilidad es la medida de la facilidad o de la dificultad de colocación, consolidación y acabado del concreto. La consistencia es la habilidad del concreto de fluir. Plasticidad es la facilidad de moldeo del concreto. Si se usa más agregado en el concreto o si se adiciona menos agua, la mezcla se vuelve más rígida (menos plástica y menos trabajable) y difícil de moldearse. El ensayo de revenimiento (asentamiento) se usa para medir la consistencia del concreto. Cuanto mayor el revenimiento, más húmeda es la mezcla. El revenimiento es un indicador de trabajabilidad cuando se evalúan mezclas similares.

Generalmente, se indica el revenimiento en la especificación de la obra como un rango, como de 50 a 100 mm (2 a 4 pulg.) o como un valor máximo que no se debe exceder. En el ajuste de la mezcla, se puede aumentar el revenimiento en cerca de 10 mm con la adición de 2 kilogramos de agua por metro cúbico de concreto (1 pulgada con la adición de 10 libras por yarda cúbica de concreto).

Manejo del concreto: El concreto empieza a endurecerse en el momento que se mezclan los materiales cementantes y el agua, pero el grado de endurecimiento que ocurre en los primeros 30 minutos no es un problema. El concreto que se mantiene en agitación generalmente se lo puede colocar y compactar en un periodo de 1 1/2 hora después del mezclado, a no ser que la temperatura elevada del concreto o el contenido alto de cemento aceleren excesivamente la hidratación.

Segregación: La segregación es la tendencia del agregado grueso de separarse del mortero de cemento y arena. Esto resulta en que parte de la mezcla tiene poca cantidad de agregado grueso y el resto tiene cantidad excesiva.

Transporte de concreto. Se debe transportar y colocar el concreto lo más rápido posible, durante el clima caluroso. Los retrasos contribuyen para la pérdida de revenimiento y para el aumento de la temperatura del concreto. Se debe disponer de mano de obra y equipos suficientes para manosear y colocar el concreto inmediatamente después de su entrega. La ASTM C 94 (AASHTO M 157) requiere que la descarga del concreto sea en 1 1/2 hora o antes que el tambor alcance 300 revoluciones, lo que ocurra primero. Durante el clima caluroso, el límite de tiempo se puede reducir para 1 hora o incluso hasta 45 minutos.

Formaletas.

Las formaletas para la construcción no deberán tener una longitud menor de tres metros (3 m) y su altura será igual al espesor del pavimento por construir. Deberán tener la suficiente rigidez para que no se deformen durante la colocación del concreto o cuando van a servir como rieles para el desplazamiento de equipos. Es común el uso de formaletas fijas sin embargo se debe disponer lo suficiente para que no atrase el trabajo de chorreado durante el día lo cual debe estar en función de la capacidad de producción diaria por ejemplo si la producción diaria es 500m se dispondrán de 500m lineales de formaleta a ambos lados aunque se debe tomar en cuenta la distancia de la planta y el tiempo de abastecimiento para no incurrir en sobrecostos ni en un exceso de formaleta el ejemplo será válido cuando la entrega sea sucesiva.

La fijación de las formaletas al suelo se hará mediante pasadores de anclaje que impidan cualquier desplazamiento vertical u horizontal, debiendo estar separados como máximo un metro (1.00 m), y existiendo el menos uno (1.00 m) en cada extremo de las formaletas o en la unión de las mismas.

Se pueden utilizar los siguientes métodos de formaleta para el encofrado del concreto:

Procedimiento de formaleta fija

Las formaletas deben ser de un material resistente y durable, de preferencia metálica, recta y de diseño aprobado por el ingeniero. Para radios de curvatura menores de 60 metros se deben empleara formaletas flexibles o curvas.

Cada sección de formaleta debe ser de altura constante e igual al espesor de la losa.

El sistema de fijación de las formaletas a la base debe incluir pernos o dispositivos de anclaje que permitan resistir las operaciones de construcción sin causar desplazamientos de la formaleta.

Los dispositivos de fijación de las formaletas de las secciones de formaletas no deben variar respecto al perfil teórico en más de 3mm por cada 3 metros de longitud. Así mismo la cara de las formaletas no debe variar respecto al plano vertical en más de 3mm por cada 3 metros.

Pavimentadora de formaletas deslizantes: La máquina Pavimentadora de formaletas deslizantes deberá extender, compactar y enrasar uniformemente el concreto, de manera de obtener mecánicamente un pavimento denso y homogéneo.

La Pavimentadora compactara adecuadamente el concreto por vibración interna en todo el ancho colocado, mediante vibradores transversales o una serie de unidades de vibrado longitudinal; en este caso, la separación entre unidades de vibrado estará comprendida entre quinientos y setecientos cincuenta milímetros (500 mm – 750). El transporte del concreto a la obra se realizara en camiones con elementos de agitación o en camiones cerrados de tambor giratorio o de tipo abierto, provistos de paletas, los cuales estarán equipados con cuentarrevoluciones. Deberán ser capaces de proporcionar mezclas homogéneas y descargar su contenido sin que se produzcan segregaciones.

5-2-2-1 Colado y acabado del concreto

La preparación antes de la colocación (colado) del concreto en pavimentos o losas sobre el terreno incluye compactación, formación de guarniciones y humedecimiento de la sub-rasante. El humedecimiento de la sub-rasante es importante, especialmente en un clima cálido y seco, para evitar que la sub-rasante absorba mucha agua del concreto, La resistencia o la capacidad de soporte de la sub-rasante deben ser adecuadas para resistir las cargas estructurales previstas. El concreto recién colocado que requiera una capa superior, frecuentemente se pica, poco después de haberse endurecido, para producir una mejor adherencia con la capa siguiente.

Colado y Esparcido: La colocación (colado) se debe empezar en el punto más lejos de la losa e ir avanzando hacia la fuente de abastecimiento de concreto. El concreto, que se debe colocar lo más cerca posible de su posición final, debe sobrellenar ligeramente las cimbras y se lo debe nivelar aproximadamente con palas de extremidad cuadrada o rastrillos (rastros) para concreto. Los vacíos grandes atrapados en el concreto durante la colocación se deben retirar a través de la consolidación.

5-2-2-2 Acabado y texturizado del concreto

La ejecución del acabado final debe ejecutarse antes del endurecimiento, pudiendo dejarse las aristas de las juntas, si la maquina esparcidora es del tipo de formaleta deslizante.

Al terminar el alisado y al haber removido el exceso de agua y estando el concreto aun en estado plástico, debe comprobarse la exactitud de la superficie de la losa por medio de un escantillón de 3m de longitud. El cual debe colocarse en proporciones aleatorias sobre toda el área de la franja o carril que no esté afectada por cambios de pendiente.

Texturizado y ranurado utilizando Pavimentadora de formaleta deslizante.

El texturizado fino o micro texturizado se logra pasando tiras o pedazos de lona en el sentido longitudinal de la vía.

Vibración: La vibración, interna o externa, es el método más utilizado para la consolidación del concreto. Cuando se vibra el concreto, la fricción interna entre las partículas de agregado se destruye temporariamente y el concreto se comporta como un líquido.

Equipos para esparcir, compactar y dar el acabado final del concreto.

Se preferirá el empleo de equipo móvil adecuado para esparcir compactar y dar el acabado final del concreto con un mínimo de trabajo manual posterior, en todo el ancho del pavimento. No se permitirá el uso de maquinarias que causen desplazamiento de las formaletas. La capacidad de las máquinas de esparcimiento del concreto debe ser la adecuada para ejecutar el trabajo requerido a una razón igual a la de llegada del concreto.

Acabado de juntas. Deben emplearse sierras para concreto con la potencia suficiente para cortar el espesor total de la losa. Las sierras deben estar equipadas con guías y dispositivos que aseguren la alineación y profundidad de corte requeridos.

Nivelación (Enrasado)

Se puede usar una plantilla o llaneta Se la debe mover sobre el concreto en un movimiento de corte o de aserrado, mientras que se avanza una pequeña distancia en cada movimiento. Se debe tener un exceso de concreto contra la parte delantera de la regla para ir llenando las áreas más bajas, a medida que la regla pasa sobre la losa.

Aplanado: Se debe utilizar una llana o una aplanadora (flota, talocha, aplanadera, alisadora) inmediatamente después del enrasado para eliminar los puntos altos y bajos y embeber las partículas grandes de agregado. La flota de mango largo se usa en áreas muy grandes que no se puede tener acceso con una flota de mango corto.

Frecuentemente se usan las reglas de autopistas para que se obtengan superficies muy planas. El aplanado se debe completar antes que el agua de sangrado (exudación) se acumule sobre la superficie. Las operaciones precedentes deben nivelar, moldear y alisar la superficie y trabajar una pequeña cantidad de pasta de cemento.

Cepillado (Escobillado): El cepillado (escobillado) se debe realizar antes que el concreto se haya endurecido completamente, pero cuando sea suficientemente duro para retener la impresión de rayado, produciendo así una superficie resistente al resbalón.

Curado y protección: En el clima frío, se deben realizar, anticipadamente, medidas para el calentamiento, la cobertura, el aislamiento del concreto o el cerramiento del ambiente. El trabajo en clima cálido puede requerir cautelas especiales contra la evaporación y del secado rápido y de las altas temperaturas.

Curado: El curado deberá hacerse inmediatamente después del acabado final, cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial. Esta operación se efectuara siguiendo uno de los métodos establecidos, por membrana impermeable o por humedad, como se establece más adelante.

El concreto no podrá estar expuesto a la intemperie por más de 30 minutos entre distintas etapas de curado o durante el periodo de curado, la aplicación de agua a la superficie será solamente utilizada como un curado interino y excepcional y será efectuado mediante el rocío de agua en forma de neblina y se utilizara hasta que el método de curado definitivo sea utilizado.

Membrana de curado: Para el curado de la superficie del concreto recién colada deberá emplearse un líquido de color claro, el que deberá cumplir con los requisitos de calidad que se describen en la norma ASTM C171.

La membrana de curado a emplear será de un componente cuya base sea agua y parafina de pigmentación blanca. Deberán utilizarse membranas que eviten que se tapen las boquillas de los equipos de rociado. Alternativamente se podrá utilizar procedimiento de curado húmedo como se presenta más adelante.

Desencofrado.: Cuando el pavimento se construya entre formaletas fijas, el desmontaje de la formaleta se efectuara luego de transcurridas dieciséis (16 horas) a partir de la colocación del concreto. En cualquier caso, el Contratante podrá aumentar o reducir el tiempo, en función de la resistencia alcanzada por el concreto, esta actividad será inspeccionada por la Supervisión.

Cualquier daño generado por esta actividad a las losas deberá ser corregida a costa del Contratista aunque lo más recomendable es utilizar criterios de madurez y resistencia.

Efecto de las temperaturas en el concreto

En temperaturas más elevadas, una mayor cantidad de agua se necesita para mantener el revenimiento constante. La adición de agua sin la adición de cemento resulta en mayor relación agua-cemento, disminuyéndose la resistencia en todas las edades y afectando negativamente otras propiedades del concreto endurecido.

La evaporación rápida del agua del concreto recién colocado puede causar agrietamiento por retracción plástica antes que la superficie endurezca.

Colado en clima caluroso

La temperatura más favorable para lograrse una alta calidad del concreto fresco es normalmente más baja que aquella obtenida, durante el clima cálido, sin enfriamiento artificial. Se desea una temperatura del concreto de 10°C a 15°C (50°F a 60°F) para maximizar las propiedades de la mezcla, pero tal temperatura ni siempre es posible. Muchas especificaciones requieren sólo que el concreto tenga una temperatura igual o inferior a 29°C a 32°C (85°F a 90°F), durante su colocación (colado).

Colado en clima frío

Cuando la temperatura del aire caiga para menos de 4°C (40°F) y permanece bajo 10°C (50°F) durante más de la mitad de cualquier periodo de 24 horas. Bajo estas circunstancias, todos los materiales y equipos necesarios para la protección y el curado adecuados deben estar disponibles y listos para el uso antes del inicio de la colocación (colado) del concreto.

Durante el clima frío, la mezcla de concreto y su temperatura se deben adaptar a los procedimientos constructivos y a las condiciones del clima. Se deben hacer preparativos para proteger el concreto. (PCA, Diseño y control de mezclas de concreto, 2003)

Tabla 5-12 Temperatura recomendada para la construcción del concreto en clima frío

| Línea | Condición | | Espesor de la sección, mm (pulg) | | | |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------|------------------|
| | | | Menos que 300 (12) | 300 a 900 (12 a 36) | 900 a 1800 (36 a 72) | Más de 1800 (72) |
| 1 2 3 | Temperatura mínima del concreto fresco mezclado en clima fresco | Mayor que -1°C(30°F) | 16°C(60°F) | 13°C(55°F) | 10°C(50°F) | 7°C(45°F) |
| | | -18°C a -1°C(0°F a 30°F) | 18°C(65°F) | 16°C(60°F) | 13°C(55°F) | 10°C(50°F) |
| | | Mayor que -18°C(0°F) | 21°C(70°F) | 18°C(65°F) | 16°C(60°F) | 13°C(55°F) |
| 4 | Temperatura mínima del concreto al colocado y para mantenerlo | | 13°C(55°F) | 10°C(50°F) | 7°C(45°F) | 5°C(40°F) |

Fuente: (PCA, Diseño y control de mezclas de concreto, 2003)

Trabajabilidad.: El asentamiento promedio de la mezcla de concreto deberá ser de seis (6) centímetros al momento de su colocación; nunca deberá ser menor de cuatro (4), ni mayor de ocho.

Las mezclas que no cumplan este requisito deberán ser destinadas a otras obras de concreto como cunetas y drenajes, y no se permitirá su colocación para la losa de concreto. Sin embargo, se deberá tomar en cuenta el equipo y método de construcción pues en gran parte depende de esto.

Temperatura ambiente y uso de aditivos.: El empleo de retardadores de fraguado es obligatorio cuando la temperatura ambiente durante la colocación de la mezcla supere los treinta grados centígrados. Además, se debe tomar en cuenta los criterios de evaporación del concreto.

Confinamiento Lateral: Se colocaran dos barras de 16 mm (5/8”) de diámetro por cada losa de pavimento, instalados verticalmente al costado externo de las losas. La longitud de las barras será de al menos 30 cm, pero con un largo tal que asegure un buen anclaje en la base. La ubicación será a 50 cm de las juntas adyacente al concreto de la losa. La finalidad de estas barras es evitar el desplazamiento lateral de las losas.

Construcción de bordillos: Se puede realizar manualmente o a través de equipos deslizantes adheridos a la formaleta de la Pavimentadora.

Construcción de juntas

La función de las juntas consiste en mantener las tensiones de la losa provocadas por la contracción y expansión del pavimento dentro de los valores admisibles del concreto; o disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas losas.

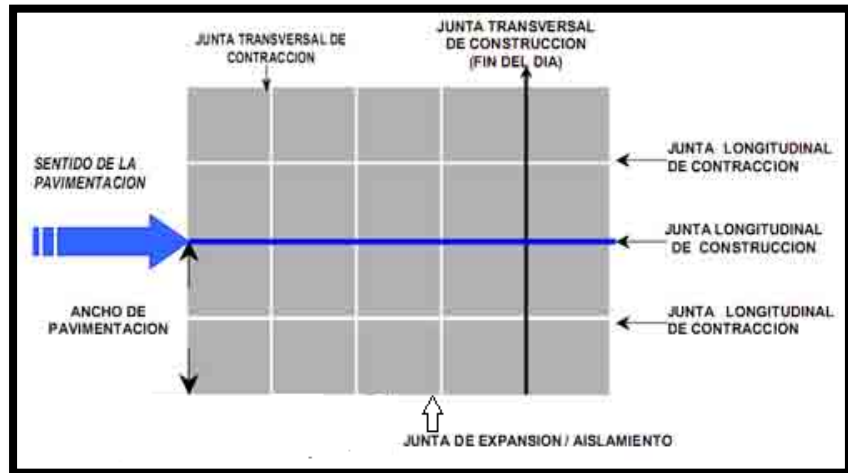


Figura 5-1 Construcción de juntas

Las ranuras aserradas deberán inspeccionarse para asegurar que el corte se haya efectuado hasta la profundidad especificada ($1/4$ del espesor de la losa en la dirección transversal), Y $1/3$ en la dirección longitudinal. Toda materia extraña que se encuentre dentro de todos los tipos de juntas deberá extraerse mediante agua a presión, chorro de arena (sand blasting) y aire a presión los cuales deberán ser aplicados siempre en una misma dirección.

El uso de este procedimiento deberá garantizar la limpieza total de la junta y la eliminación de todos los residuos del corte.

En un pavimento de concreto o pavimento rígido se pueden apreciar los siguientes tipos de juntas; juntas de contracción, juntas de construcción, juntas longitudinales, y transversales:

Juntas de contracción

Su objetivo es inducir en forma ordenada la ubicación del agrietamiento del pavimento causada por la contracción (retracción) por secado y/o por temperatura del concreto. Se emplea para reducir la tensión causada por la curvatura y el alabeo de losas. Los pasadores se pueden usar en las juntas de contracción para la transferencia de cargas, bajo ciertas condiciones. Sin embargo, se espera que la transferencia de cargas se logre mediante la trabazón entre los agregados.

Juntas de construcción: Las juntas de construcción separan construcciones contiguas colocadas en diferentes momentos, tales como la colocación al final del día o entre fajas de pavimentación. La transferencia de cargas se logra mediante el empleo de pasadores. Pueden ser transversales o longitudinales.

Acero de refuerzo en juntas de días sucesivos de trabajo

El acero de refuerzo o de unión entre juntas debe consistir en barras corrugadas de acero de lingote grado 300 (40), 400 (60) o 500 (75) las barras grado 40 y 75 no deben usarse como barras de sujeción cuando tengan que ser dobladas o reenderezadas durante la construcción.

Barras pasadores o dovelas. Las dovelas deben ser redondas y lisas, deben estar libres de rebabas o deformaciones que restrinjan su deslizamiento en el concreto. Antes de colocarse, las dovelas deben revestirse con una capa delgada de alquitrán o pintura aprobada para metales y otro material que permita el deslizamiento de la barra e impida su oxidación.

El esqueletado para las dovelas debe ser de metal o de plástico y del largo suficiente para cubrir por lo menos 60mm de la dovela, debiendo ser cerrados en el extremo y con un tope para mantener la dovela a la distancia de 25mm del fondo del casquete. Los casquetes deben ser diseñados para que no se desprendan de las barras durante la construcción.

Juntas de expansión o aislación: Se usan para aislar pavimentos que se interceptan con la finalidad de disminuir los esfuerzos de compresión en éstos, cuando se expanden por el aumento de temperatura. También se utilizan para aislar estructuras existentes.

Juntas transversales de contracción

Estas juntas se construyen transversalmente a la línea central y espaciada, para controlar el agrietamiento por esfuerzos causados por contracción del concreto o encogimiento y cambios de humedad o temperatura. Estas juntas están orientadas en ángulos rectos a la línea horizontal y borde de los carriles o franjas del pavimento. Para reducir la carga dinámica a través de la junta y eliminar cargas simultaneas de las llantas, conforme se indique en los planos.

Juntas transversales de construcción

Las juntas transversales de construcción son juntas planas y no se benefician del engrape del agregado. Controlan principalmente, el agrietamiento natural del pavimento. Su diseño y construcción apropiados son críticos para el desempeño general del pavimento. Deben construirse al concluir la operación de pavimentación, al final del día o cuando surge cualquier interrupción de la colocación. Cuando la junta de construcción es colocada en una ubicación planificada o el pavimento no está adyacente a una losa de concreto existente se requiere dovelas para proporcionar transferencia de carga

Juntas de alineamiento: El material para juntas de aislamiento (también llamadas material de las juntas de expansión) pueden ser tan finas como 6 mm (1/4 pulg.), pero normalmente se usa una junta de 13 mm (1/2 pulg.). Se debe tener cuidado para garantizar que todos los bordes en toda la profundidad de la losa se aislen de las construcciones adyacentes, pues de lo contrario puede ocurrir agrietamiento.

Elementos para la ejecución de las juntas.

Si las juntas se ejecutan sobre el concreto endurecido, se emplearan sierras cuyo disco se seleccionara de acuerdo con el material, espesor y diámetro.

Las sierras serán del tipo autopropulsado a criterio del Contratante, provisto de disco delgado que permita la realización de cortes no mayores a 2 mm de espesor, costaran de una guía para marcar la línea de corte.



Figura 5-2 – Cortadora de Concreto.

Sellos

La función principal de un sellador de juntas es minimizar la infiltración de agua a la estructura del pavimento y evitar la intrusión de materiales incompresibles dentro de las juntas que pueden causar la rotura de estas (descascaramiento) material de sellos de juntas de pavimentos de concreto, deben cumplir con las siguientes características:



Figura 5-3 – Sellador de Juntas.

- Impermeabilidad, Deformabilidad, Resiliencia, Adherencia, Resistencia, Estable y Durable.

El sellado se hará antes de la entrega al tránsito y previa limpieza de la junta, con la finalidad de asegurar un servicio a largo plazo del sellador.

Equipo.- El equipo que utilice deberá incluir una barredora mecánica, una motoniveladora, equipo con escoba de arrastre, una aplanadora autopropulsada con un peso mínimo de 5 toneladas, equipo esparcidor de agregados ajustable y

equipo para calentar y distribuir a presión el asfalto. Tanto el esparcidor de agregados como el calentador y distribuidor de asfalto.

5-2-2-3 Equipos requeridos para la colocación del pavimento rígido y flexible **Equipos mínimos para la colocación del asfalto:**

1. Estabilizadora de camino: esta máquina permite la pulverización del suelo y mezclarlo con el cemento.
2. Motoniveladora: conforma y nivela la vía antes y después del proceso de mezclado del cemento.
3. Carro tanque de agua: aproxima el material a humedades óptimas para su compactación además garantiza un curado en la vía.
4. Vibro compactador: obtiene la densidad necesaria para que permita que el suelo-cemento adquiera la resistencia.

Listado mínimo de equipos para el pavimento rígido.

Brigada de topografía compuesta por un topógrafo-nivelador, dos ayudantes de topografía, para el replanteo, control de límites y niveles de excavación y demás actividades.

Equipos de laboratorio puntualmente para los ensayos de compactación en los rellenos de terraplenes y mejoramiento de carreteras, y control de revenimiento y toma de muestras de concreto para el control de calidad del concreto.

Excavadora con capacidad de brazo extendible hasta 4 metros.

Compactadora tipo plancha golpeadora (brinquines), para la compactación del relleno de los estribos y aletones de puente, fondo de excavación para cajas, base para andenes peatonales.

Compactadoras tipo rodillo de 500 libras de peso para compactar relleno detrás de las paredes de los estribos.

Planta eléctrica con capacidad de 5kv, para suplir energía a las herramientas eléctricas de corte, sierras de carpinterías, iluminación nocturna y demás herramientas pequeñas movidas a base de energía eléctrica.

Mezcladora autopropulsada mediante motor de diésel o gasolina con capacidad de mezclar por lo menos 3 sacos (0.3 metros cúbicos), para llenar las losas del puente, losetas que cubren el canal, vigas de asiento del puente y demás obras pequeñas de concreto y preparar la mezcla de mortero para la mampostería. (Las losetas de concreto también pueden ser prefabricadas).

Camiones mezcladores de concreto con capacidad de 7.5m³ cada uno para el suministro del concreto de la losa de rodamiento.

Planta estacionaria portátil para el mezclado del concreto.

Maquina colocadora para pavimentos que puede ser con regla vibratoria o no.

Vibradores de chilillo y asean eléctricos o autopropulsados para vibrar el concreto de losetas y vigas de asiento.

Welders (máquina de combustión interna para soldar) con capacidad de 50-210^a DC, 50-225 A, AC, 15-25V, polaridad AC,DC

Camión de plataforma de 20ft de largo eje sencillo, 8 toneladas de capacidad para el acarreo de materiales de construcción, madera, personal.

Camión de volteo de (4 a 6m³) de capacidad para el acarreo de bloques y material de relleno.

Tractor tipo D6 cat, para el corte de material hasta llegar a la sub-rasante, o una motoniveladora de 240G puede ser utilizada para corte en suelo suave, conformación y regado del material.

Vibrocompactadora entre 12 y 24 toneladas de capacidad para compactar las capas componentes de la estructura del pavimento.

Camión cisterna para regar el material de la carretera durante el proceso de compactación.

Tanque de agua estacionario de 3000 galones de capacidad para usos diversos en el caso que el acarreo sea muy costoso o cuando se la mezcla del concreto se realice en el sitio.

Cabezal y lowboy para movilizar equipos de construcción cuando el proyecto este alejado de la ciudad o del punto de adquisición de las maquinarias.

Cuando el mezclado se haga en el sitio de la obra se requerirá de un cabezal y rastra de 400quintales de capacidad para el transporte de arena, cemento, grava para la elaboración del concreto.

Palas mecánicas, Juego de luces para trabajos nocturnos.

Cierra con disco diamante para realizar el corte de las losas del pavimento.

Capítulo VI

6. Metodología de diseño de estructuras de Pavimento Flexible y Pavimento Rígido por la AASHTO 1993.

Los primeros antecedentes en el Diseño de Pavimentos según el Método AASHTO se tienen con el AASHTO ROAD Test que fue un Ensayo Realizado sobre pavimentos de determinadas características bajo diferentes cargas, realizado en Ottawa, Illinois entre los años 1958 a 1960 a unos 128km de Chicago, tanto en el clima como en el suelo, son típicos de una gran parte de los Estados Unidos. Los ensayos sobre pavimentos se hicieron sobre seis secciones separadas dobles, con pistas de doble vía en forma de dos tramos rectos paralelos con secciones curvas para retorno.

De esos ensayos se obtuvo información para ser aplicada en la metodología de Diseño de Pavimentos. Después de esos Ensayos surgió la “AASHTO Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavement” o su Traducción al Castellano “Guía Provisional para el Diseño de Pavimentos Rígidos y Flexibles” (1962), la cual contenía procedimientos de diseño basados en modelos empíricos deducidos de datos recolectados en el AASHTO Road Test.

En 1972 surgió la “AASHTO Interim Guide for the Design of Pavement Structures” o “Guía Provisional para el Diseño de Estructuras de Pavimentos” con muchas modificaciones con respecto al de 1972; ya que considera la Confiabilidad, Módulos Resilientes de Materiales, Coeficientes de Drenaje y Efecto de Subrasantes Expansivas (sometidas a congelación y deshielo).

La Guía AASHTO de 1993 conserva los algoritmos originales del Ensayo Vial AASHTO ROAD Test correspondientes a un grupo reducido de materiales, un solo tipo de subrasante, tránsito homogéneo y el medio ambiente del sitio del ensayo. La metodología de diseño proporcionada en la Guía AASHTO de 1993 incluye consideraciones específicas de los siguientes elementos:

- ❖ Comportamiento del Pavimento.
- ❖ Tráfico.
- ❖ Suelo de Fundación.
- ❖ Materiales de Construcción.
- ❖ Medio Ambiente.
- ❖ Drenaje.
- ❖ Confiabilidad.
- ❖ Costos del Ciclo de Vida.
- ❖ Diseño de Bermas.

6-1 Diseño de Estructura de Pavimento Flexible.

Este método de diseño es aplicable para vías con tránsito superior a 0.05×10^6 ejes equivalentes de 8.16 toneladas (18,000lb) y la ecuación utilizada para el diseño de pavimentos flexibles, derivada de la información obtenida empíricamente en la AASHO ROAD TEST es la que se muestra en la siguiente página:

Ecuación Básica de Diseño de Pavimento Flexible AASHTO 1993.

$$\log_{10} W_{18\text{klb}} = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \log_{10}(\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta\text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{(1094)}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}} + 2.32$$
$$* \log_{10}(M_R) - 8.07$$

En donde:

$W_{18\text{klb}}$: Número previsto de aplicaciones de carga por eje simple equivalente a 18Klb.

Z_R : Desviación Normal Estándar.

S_0 : Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento de la estructura.

ΔPSI : Diferencia entre el Índice de Serviciabilidad Inicial de Diseño (P_0), y el Índice de Serviciabilidad Terminal de Diseño (P_T).

M_R : Módulo Resiliente (psi), SN: Número Estructural.

6-1-1 Variables de diseño

- **Variables en Función del Tiempo.**

El período de diseño es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente.

La vida útil del pavimento, es aquel tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que alcanza el mínimo de serviciabilidad.

El período de diseño puede llegar a ser igual a la vida útil de un pavimento en los casos en que se consideren reconstrucciones o rehabilitaciones a lo largo del tiempo, el período de diseño comprende varios períodos de vida útil que son: el del pavimento original y el de las rehabilitaciones.

Tabla 6-1 Periodos de Diseño recomendados según la clasificación funcional de la carretera.

| Periodo de Diseño | |
|-----------------------|-------------------|
| Tipo de Carretera | Periodo de Diseño |
| Autopista Regional | 20 - 40 años |
| Troncales Suburbanas | 15 - 30 años |
| Troncales Rurales | |
| Colectoras Suburbanas | 10 - 20 años |
| Colectoras Rurales | |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993)

- **Análisis del Transito**

El estudio del tránsito demanda dos datos: El Transito Promedio Diario (TPDA) y el Transito Promedio Diario de Camiones (TPDAC). Los cuales son obtenidos a partir de censos de tránsito en el lugar de la futura construcción (si existe la ruta y va a ser pavimentada o repavimentada) o si es totalmente nueva mediante censos de tránsito en lugares próximos. El transito cambia según el día de la semana y el proyectista debe tenerlo en cuenta.

Es necesario conocer las tasas de crecimiento de tránsito, así como la distribución por dirección y si se trata de un camino de varios carriles, la distribución por carril.

-Volúmenes de Camiones

Es necesario conocer el porcentaje de camiones en el volumen de tránsito a estudiar, así como la clasificación de los camiones. Los camiones llevan distintas cargas, el uso del porcentaje de camiones para calcular el número de ESAL's por camión debe ser hecho a partir de determinaciones precisas de los diferentes tipos de camiones en el flujo del tránsito. Según la FHWA reconoce 13 clases de vehículos para el Cálculo de los ESAL's, los cuales son:

- Motocicletas.
- Automóviles.
- Otros Vehículos de Dos Ejes y Cuatro Ruedas.

- Ómnibus.
- Camiones Simples, 2 Ejes y 6 Ruedas.
- Camiones Simples, 3 Ejes.
- Camiones Simples, 4 o más ejes.
- Camiones Semirremolques de 4 o menos ejes.
- Camiones Semirremolques de 5 ejes.
- Camiones Semirremolque de 6 o más ejes.
- Camiones c/acoplado de 5 o menos ejes.
- Camiones c/acoplado de 6 ejes.
- Camiones c/acoplado de 7 o más ejes.
- **Peso de Camiones.**

La distribución del tipo de camiones es importante, lo es también la de los pesos. Esto es en función de las nuevas reglamentaciones en cuanto a cargas y a las variaciones en el esquema productivo de una zona o de todo el país en general. Los factores necesarios que se deben conocer son:

- Peso Total del Camión.
- Distribución por Ejes de este Peso.

En la Tabla 6-3 se muestra el peso de los camiones, así como la distribución por ejes de estos pesos.

- **Ejes Simples Equivalentes de 18 klb (W_{18klb}).**

Los ejes simples equivalentes es la cantidad pronosticada de repeticiones del Eje de Carga Equivalente de 18 kips (8,16 ton = 80 kN) para un periodo determinado, utilizamos esta carga equivalente por efectos de cálculo ya que el tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes.

La evaluación del tránsito está dada por la repetición de una carga en un eje simple equivalente de 18000Lb. Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen a su vez diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; los diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales, responden en igual forma de diferente manera a igual carga.

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil.

Un tránsito mixto está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes. Para efectos de cálculo se transforman en un número de ejes equivalentes de

18000Lbs, por lo que se les denominara “Equivalent Simple Axial Load” (ESAL) o (Ejes Equivalentes).

Es necesario fijar adecuadamente el concepto de que el tipo de eje y su peso es mas importante que el peso del vehiculo en lo que respecta al comportamiento del pavimento.

- **Calculo de los ESAL’s.**

El proceso de convertir un transito mixto en un numero de ESAL’s de 18000Lbs es una tarea compleja y fue desarrollado por el Road Test de AASHO. En este ensayo se cargaron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas, para analizar el daño que produjeron. El transito es reducido a un numero equivalente de ejes de una determinada carga que produzcan el mismo daño que toda la composicion del transito. La conversion se hace a traves de los factores equivalentes de carga, denominados LEF por sus siglas en ingles (“Load Equivalent Factor”) o Factor Equivalente de Carga.

- **Factor Equivalente de Carga:** El factor equivalente de carga (LEF) es un valor numerico que expresa la relacion entre la perdida de serviciabilidad causada por una carga de un tipo de eje y la producida por el eje estandar de 18000lb en el mismo eje.

$$LEF = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de ESAL's 18000lb que producen una perdida de serviciabilidad}}{\text{N}^{\circ} \text{ de ejes de X Lbs que producen la misma perdida de serviciabilidad}}$$

Debido a que cada tipo de pavimento responde de manera diferente a la carga, los Factores Equivalentes de Cargas cambian de acuerdo al tipo de pavimento y a su vez que cambien cada una de las variables de cada pavimento.

En los Anexos se muestran las tablas del Apendice “D” de la Guia AASHO-93, donde se muestran los LEFs para los Ejes Simples, Ejes Tandem y Ejes Tridem para Pavimentos Flexibles y Rigidos, con 3 valores de serviciabilidades finales para cada tipo de ejes y pavimentos.

El Eje Delantero de los vehiculos no fue incluido en el desarrollo de los Factores Equivalentes de Carga en la Metodologia AASHO, debido a que el daño que causa el eje delantero no es muy significativo.

Según estudios recientes mostraron que para pavimentos flexibles el daño promedio por ahuellamiento de los ejes delanteros es del 2.10%, daño por fisuracion es del 0.13% y por serviciabilidad es del 1.31%.

Por tales estudios se eliminan los ejes delanteros debido a que no provocan un daño serio para el diseño del pavimento.

En el AASHTO Road Test no se incluyeron los ejes triples, pero las tablas para los mismos fueron desarrolladas en base a analisis elasticos por capas para considerar sus efectos en los distintos pavimentos.

Factor de Camion: El Factor Equivalente de Carga expresa los niveles equivalentes de daño entre ejes, pero tambien es conveniente expresar el daño en terminos del deterioro producido por un vehiculo. Por tanto los daños producidos por cada eje de un vehiculo son sumados para determinar el daño producido por el vehiculo total; de esta manera surge el concepto de Factor de Camion (F.C) que esta definido como el numero de ESAL's por vehiculo. A continuacion se muestra la manera del calculo del Factor Camion mediante la Tabla 6-2:

Tabla 6-2 Calculo del Factor Camión

| Calculo del Factor Camión | | | |
|----------------------------------|--------------|----------------|------------------|
| Carga | LEF | N° EJES | N° ESAL's |
| Ejes Simples | | | |
| P-1 | ES- LEF-1 | ES - N1 | |
| P-2 | ES- LEF-2 | ES - N2 | |
| P-3 | ES- LEF-3 | ES - N3 | |
| P-N | ES- LEF-N | ES – NN | |
| Tándem | | | |
| P-1 | ETAN - LEF-1 | ETAN - N1 | |
| P-2 | ETAN - LEF-2 | ETAN - N2 | |
| P-3 | ETAN - LEF-3 | ETAN - N3 | |
| P-N | ETAN - LEF-N | ETAN - NN | |
| Tridem | | | |
| P-1 | ETRI - LEF-1 | ETRI - N1 | |
| P-2 | ETRI - LEF-2 | ETRI - N2 | |
| P-3 | ETRI - LEF-3 | ETRI - N3 | |
| P-N | ETRI - LEF-N | ETRI - NN | |
| Total | | | |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Los pasos a seguir para el calculo de los Factores de Camion son:

- Se busca el “Factor Equivalente de Carga” en las Tablas de los Anexos correspondiente al Periodo de Diseño del Pavimento y Tipo de Pavimento.
- Los Numeros de Ejes son el numero de vehiculos obtenidos del Analisis del Transito.
- Los Datos de la Columna LEF “Factor Equivalente de Carga” se multiplican por la Columna de N° EJES para obtener el N° ESAL’s.
- Luego se divide cada N° ESAL’s entre el Numero de Camiones correspondiente a cada Tipo de Ejes para obtener el Factor de Camion (TF).

Para el calculo de los ESAL’s por la Metodologia AASHTO-93 existen 2 maneras de calcularlos; uno es por el Procedimiento Simplificado, pero que por no ser muy exacto obviaremos abordarlo. El otro procedimiento es el del Calculo Riguroso. Este metodo requiere el uso de los factores de camion para cada clase individual de camiones. El calculo de los ESAL’s se realiza de la siguiente manera:













- La Columna “A” se ubica el volumen diario contado para cada tipo de vehiculo.
- La Columna “B” tiene el factor de crecimiento para cada tipo de vehiculo, el cual depende de la tasa de crecimiento y del periodo de analisis que se muestran en la Tabla 6-4.
- La columna “C” es el resultado de la multiplicacion de la Columna “A” por la Columna “B” por 365 dias, de lo cual obtenemos el transito de diseño.
- La Columna “D” es el Factor de ESAL’s para cada tipo de camion, que se obtiene al multiplicar el N°Camiones por el Factor Camion.
- La Columna “E” es el resultado del producto de multiplicar la Colmuna “C” por la Columna “D”.
- La Suma de la Columna “E” es el numero total de ESAL’s a usar para el diseño del pavimento, el cual debe afectarse por el factor de distribucion direccional por carril.

Tabla 6-3 Limite de peso por eje

| Límite de Peso por Eje | | | | | | | | |
|------------------------|-------------------------|-----------------|-------------|--------------|-------------------------------|-------------|--------------|-------------------|
| Tipo de Vehículo | Tipo de Eje del Tractor | | | | Tipo de Eje del Semirremolque | | | Total (Toneladas) |
| | Eje Simple Direccional | Eje de Tracción | | | Eje de Arrastre | | | |
| | | Eje Simple | Doble Rueda | Triple Rueda | Eje Simple | Doble Rueda | Triple Rueda | |
| C2 | 5.00 | 10.00 | | | | | | 15.00 |
| C3 | 5.00 | | 16.50 | | | | | 21.50 |
| C4 | 5.00 | | | 20.00 | | | | 25.00 |
| T2-S1 | 5.00 | 9.00 | | | 9.00 | | | 23.00 |
| T2-S2 | 5.00 | 9.00 | | | | 16.00 | | 30.00 |
| T2-S3 | 5.00 | 9.00 | | | | | 20.00 | 34.00 |
| T3-S1 | 5.00 | | 16.00 | | 9.00 | | | 30.00 |
| T3-S2 | 5.00 | | 16.00 | | | 16.00 | | 37.00 |
| T3-S3 | 5.00 | | 16.00 | | | | 20.00 | 41.00 |
| Otros | 5.00 | - | - | - | - | - | - | Variable |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Tabla 6-4 Pesos Maximos Permisible por Tipo de Vehiculos.

| TIPO DE VEHICULOS | ESQUEMAS DE VEHICULOS | PESO MAXIMO AUTORIZADO | | | | | | Peso Máximo Total (1) Ton - Met. |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------------------------|
| | | 1er. Eje | 2do. Eje | 3er. Eje | 4to. Eje | 5to. Eje | 6to. Eje | |
| C2 |  | 5.00 | 10.00 | | | | | 15.00 |
| C3 |  | 5.00 | 16.50 | | | | | 21.50 |
| | | | 8.25 | 8.25 | | | | |
| C4 |  | 5.00 | 20.00 | | | | | 25.00 |
| | | | 6.67 | 6.66 | 6.66 | | | |
| T2-S1 |  | 5.00 | 9.00 | 9.00 | | | | 23.00 |
| T2-S2 |  | 5.00 | 9.00 | 16.00 | | | | 30.00 |
| | | | | 8.00 | 8.00 | | | |
| T2-S3 |  | 5.00 | 9.00 | 20.00 | | | | 34.00 |
| | | | | 6.67 | 6.66 | 6.66 | | |
| T3-S1 |  | 5.00 | 16.00 | | 9.00 | | | 30.00 |
| | | | 8.00 | 8.00 | | | | |
| T3-S2 |  | 5.00 | 16.00 | | 16.00 | | | 37.00 |
| | | | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | | |
| T3-S3 |  | 5.00 | 16.00 | | 20.00 | | | 41.00 |
| | | | 8.00 | 8.00 | 6.67 | 6.66 | 6.66 | |
| C2-R2 |  | 4.50 | 9.00 | 4.0 a | 4.0 a | | | 21.50 |
| | | 4.50 | 9.00 | 6.5 b | 6.5 b | | | 26.50 |
| C3-R2 |  | 5.00 | 16.00 | | 4.0 a | 4.0 a | | 29.00 |
| | | 5.00 | 8.00 | 8.00 | 6.5 b | 6.5 b | | 34.00 |
| C3-R3 |  | 5.00 | 16.00 | | 4.0 a | 5.0 a | 5.0 a | 35.00 |
| | | 5.00 | 8.0 b | 8.0 b | 6.5 b | 5.0 b | 5.0 b | 37.50 |

NOTA: El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.

a : Eje sencillo llanta sencilla.
b : Eje sencillo llanta doble.

Fuente: (MTI, Red Vial Nicaragua, 2014).

En este grafico se muestra los tipos vehiculos permisibles adoptados en nuestra region, asi como su configuracion de los mismos.

Tabla 6-5 Factores de crecimiento de transito.

| Factores de Crecimiento de Transito | | | | | | | | |
|--------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Periodo de Diseño (Años) | Factor de Crecimiento | Tasa de Crecimiento Anual (Porcentaje) r. | | | | | | |
| | * | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 |
| 1 | 1.0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2 | 2.0 | 2.02 | 2.04 | 2.05 | 2.06 | 2.07 | 2.08 | 2.10 |
| 3 | 3.0 | 3.06 | 3.12 | 3.15 | 3.18 | 3.21 | 3.25 | 3.31 |
| 4 | 4.0 | 4.12 | 4.25 | 4.31 | 4.37 | 4.44 | 4.51 | 4.64 |
| 5 | 5.0 | 5.20 | 5.42 | 5.53 | 5.64 | 5.75 | 5.87 | 6.11 |
| 6 | 6.0 | 6.31 | 6.63 | 6.80 | 6.98 | 7.15 | 7.34 | 7.72 |
| 7 | 7.0 | 7.43 | 7.90 | 8.14 | 8.39 | 8.65 | 8.92 | 9.49 |
| 8 | 8.0 | 8.58 | 9.21 | 9.55 | 9.90 | 10.26 | 10.64 | 11.44 |
| 9 | 9.0 | 9.75 | 10.58 | 11.03 | 11.49 | 11.98 | 12.49 | 13.58 |
| 10 | 10.0 | 10.95 | 12.01 | 12.58 | 13.18 | 13.82 | 14.49 | 15.94 |
| 11 | 11.0 | 12.17 | 13.49 | 14.21 | 14.97 | 15.78 | 16.65 | 18.53 |
| 12 | 12.0 | 13.41 | 15.03 | 15.92 | 16.87 | 17.89 | 18.98 | 21.38 |
| 13 | 13.0 | 14.68 | 16.63 | 17.71 | 18.88 | 20.14 | 21.50 | 24.52 |
| 14 | 14.0 | 15.97 | 18.29 | 19.16 | 21.01 | 22.55 | 24.21 | 27.97 |
| 15 | 15.0 | 17.29 | 20.02 | 21.58 | 23.28 | 25.13 | 27.15 | 31.77 |
| 16 | 16.0 | 18.64 | 21.82 | 23.66 | 25.67 | 27.89 | 30.32 | 35.95 |
| 17 | 17.0 | 20.01 | 23.70 | 25.84 | 28.21 | 30.84 | 33.75 | 40.55 |
| 18 | 18.0 | 21.41 | 25.65 | 28.13 | 30.91 | 34.00 | 37.45 | 45.60 |
| 19 | 19.0 | 22.84 | 27.67 | 30.54 | 33.76 | 37.38 | 41.45 | 51.16 |
| 20 | 20.0 | 24.30 | 29.78 | 33.06 | 36.79 | 41.00 | 45.76 | 57.28 |
| 25 | 25.0 | 32.03 | 41.65 | 47.73 | 54.86 | 63.25 | 73.11 | 98.35 |
| 30 | 30.0 | 40.57 | 56.08 | 66.44 | 79.06 | 94.46 | 113.28 | 164.49 |
| 35 | 35.0 | 49.99 | 73.65 | 90.32 | 111.43 | 138.24 | 172.32 | 271.02 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Factor de Distribucion por Direccion

Es el factor del total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; ya que la mitad de los vehiculos va en una direccion y la otra mitad en la otra direccion. Puede darse el caso de ser mayor en una direccion que en la otra, lo cual puede reducirse del conteo de transito efectuado. Lo mas importante de esto, sera la diferencia de peso entre los vehiculos que van en una y en otra direccion.

Tabla 6-6 Factor de distribución por dirección

| Factor de Distribución por Dirección | |
|------------------------------------------------|---------------|
| Número de Carriles en Ambas Direcciones | LD (%) |
| 2 | 50 |
| 4 | 45 |
| 6 o mas | 40 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Factor de Distribucion por Carril

Se define por el Carril de Diseño aquel que recibe el mayor numero de ESAL's. Para un camino de 2 carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el transito por direccion forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el de diseño sera el externo, por el hecho de que los vehiculos pesados van en ese carril.

Tabla 6-7 Factor de distribución por carril

| Factor de Distribución por Carril | |
|-------------------------------------------------|-------------|
| Número de Carriles en una Sola Dirección | LC |
| 1 | 1.00 |
| 2 | 0.80 - 1.00 |
| 3 | 0.60 - 0.80 |
| 4 | 0.50 - 0.75 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Desviacion Normal Estandar (Z_R).

Es la medida de dispersion para las variables cuantitativas. En el caso de los pavimentos flexibles esta influenciada por la confiabilidad "R" que determina el grado de seguridad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su periodo de diseño en buenas condiciones. Se determina al considerar un grado de Confiabilidad "R" adecuado.

Tabla 6-8 Valores de desviación normal en función de la confiabilidad

| Valores Zr en Función de la Confiabilidad R | |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Confiabilidad R (%) | Desviación Normal Estándar Zr |
| 50 | 0.000 |
| 60 | -0.253 |
| 70 | -0.524 |
| 75 | -0.674 |
| 80 | -0.841 |
| 85 | -1.037 |
| 90 | -1.282 |
| 91 | -1.340 |
| 92 | -1.405 |
| 93 | -1.476 |
| 94 | -1.555 |
| 95 | -1.645 |
| 96 | -1.751 |
| 97 | -1.881 |
| 98 | -2.054 |
| 99 | -2.327 |
| 99.9 | -3.090 |
| 99.99 | -3.750 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Error Estandar Combinado (S_0).

El conjunto total del Error Estandar Combinado representa la desviación estandar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir, el número de ejes que puede soportar un pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado P_T (Índice de Serviciabilidad Final). Esta comprendido para los siguientes intervalos con el tipo de construcción que se pretende realizar, se muestran a continuación:

- Pavimentos Flexibles (0.40 - 0.50).
- Construcción Nueva (0.35 – 0.40).
- Sobrecapas (0.50).

Considerando las recomendaciones anteriores, se establece un valor 0.45 para Pavimentos de Asfalto.

Diferencia entre los Índices de Serviciabilidad (Δ PSI).

La serviciabilidad de una estructura de pavimento, es la capacidad que tiene este de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. Los índices de serviciabilidad se califican entre 0 (para malas condiciones) y 5 (para excelentes condiciones).

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final; la serviciabilidad inicial (P_0) es una función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la serviciabilidad final o terminal (P_T) va en función de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del diseñador, los valores que se recomiendan por experiencia son los siguientes:

Tabla 6-9 Índice de serviciabilidad

| Índices de Serviciabilidad | | |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------|
| Serviciabilidad Inicial | Pavimentos Flexibles | 4.2 |
| | Pavimentos Rígidos | 4.5 |
| Serviciabilidad Final | Camino Principales | 2.5 o mas |
| | Camino de Tránsito Menor | 2 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

- **Modulo Resiliente.**

El modulo resiliente es una medida de la propiedad elástica del suelo, tomando en cuenta ciertas características no lineales. El modulo resiliente puede ser utilizado directamente para el diseño de pavimentos flexibles, pero debe ser convertido a un modulo a un modulo de reacción de la subrasante (k), para el diseño de pavimentos rígidos o compuestos. La humedad en la subrasante es variable en el transcurso del año, es necesario hacer el estudio de la variación del modulo de resiliencia (M_r) con respecto a la humedad y poder determinar un M_r promedio de Diseño. El cálculo del Modulo Resiliente se detallará en los Ensayos de Suelos, que se verán en el siguiente capítulo.

- **El Numero Estructural.**

El SN es un numero abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido, para una combinacion dada de soporte del suelo M_R , del transito total (W_{18}), de la serviciabilidad terminal, y , de las condiciones ambientales.

El numero estructural se determina de la siguiente manera:

- Primero se tuvo que calcular los ESAL's de 18klb proyectados para el periodo de Diseño.
- Segundo asumir por Experiencia del Diseñador una Confiabilidad "R" y de esta manera obtener la Desviacion Normal Estandar mediante la Tabla 6-8 antes mencionada.
- Tercero obtener mediante Laboratorio el Modulo Resiliente. El modulo resiliente es un dato que se obtiene de las propiedades de la subrasante o terreno de cimentacion, el cual se determina mediante un procedimiento de laboratorio; o apartir del CBR haciendo una relacion con el Valor "R" y el indice de suelo.
- Cuarto se determina mediante la Diferencia de Serviciabilidad $\Delta PSI = P_o - P_t$, este determina según la Tabla 6-9, sus valores son 2.0, 2.5 y 3.0.
- Quinto habiendo calculado los datos anteriores se trabaja en el abaco del calculo del numero estructural mostrado en los anexos, este proceso es meramente grafico, es unir los valores de cada dato anterior mediante lineas congruentes para obtener el Numero Estructural.

Una vez determinado el Numero Estructural se busca un conjunto de espesores que convenientemente combinados proporcionen la capacidad portante correspondiente a ese numero estructural (SN), calculado por la formula ya descrita.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

a_i = coeficientes estructurales de la capas de rodadura, base y subbase

D_i = espesor, en pulgadas, de las capas de rodadura, base y subbase

m_i = coeficiente de drenaje de las capas base y subbase

Esta formula tiene muchas soluciones en funcio de las diferentes combinaciones de espesores; no obstante las normativas de cada pais que tienden a dar espesores de capas que deben ser construidas y protegidas de deformaciones permanentes.

Las normas que se deben considerar son las siguientes:

- **Estabilidad y Factibilidad de la Construcción.**

En la práctica no deben colocarse capas con espesores menores que los mínimos requeridos, ya que las capas con espesores mayores que el mínimo son más estables. Frecuentemente se especifica un valor mayor en el espesor de capas, con el objeto de mantener la estructura de pavimento en mejores condiciones para absorber los efectos que producen los suelos expansivos.

Cuando se utilicen como capa de rodadura tratamientos superficiales, no se debe considerar aporte estructural de esta capa; pero tiene un gran efecto en la base y la subbase ya que impermeabiliza la superficie y no permite la entrada de agua a la estructura de pavimento.

En la siguiente tabla se dan valores de los espesores mínimos sugeridos para capas asfálticas y base granular en función del tránsito.

Tabla 6-10 Espesores mínimos sugeridos en función del tráfico

| Espesores Mínimos Sugeridos | | |
|------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| Numero de ESAL's | Capas Asfálticas | Base Granular |
| Menos de 50000 | 3 cm | 10 cm |
| 50000 – 150000 | 5 cm | 10 cm |
| 150000 – 500000 | 6.5 cm | 10 cm |
| 500000 – 2000000 | 7.5 cm | 15 cm |
| 2000000 – 7000000 | 9 cm | 15 cm |
| Más de 7000000 | 10 cm | 15cm |

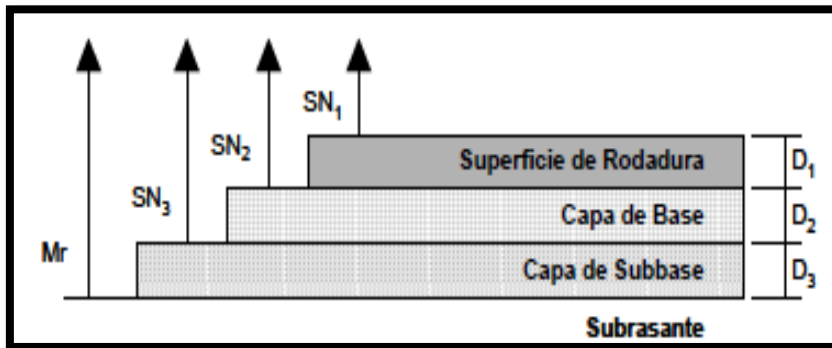
Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Tales mínimos dependen de las prácticas locales y está condicionado el usarlos; diseñadores pueden encontrar necesario modificar hacia arriba los espesores mínimos por su experiencia obtenida; estos valores son sugeridos y se considera su uso tomando en cuenta que son capas asfálticas sobre bases granulares sin tratar.

Espesores Mínimos en Función del Número Estructural

El objeto de este concepto, está basado en que las capas granulares no tratadas, deben de estar perfectamente protegidas de presiones verticales excesivas, que lleguen a producir deformaciones permanentes. El proceso se indica en la figura 2.

Figura 6-1 - Procedimiento para Determinar el Espesor



Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Para evitar las deformaciones excesivas, los materiales son seleccionados para cada capa así: Superficie de rodadura, base granular y subbase con buen CBR, límites, etc. Para cada uno de los materiales se deben conocer los módulos de resiliencia.

Utilizando el ábaco de Calculo del Numero Estructural mostrado en los Anexos, se pueden encontrar los números estructurales requeridos para proteger cada capa no tratada, reemplazando el módulo de resiliencia de la capa superior por el módulo de resiliencia de la capa que esta inmediatamente abajo; así, para determinar el espesor D1 de la capa asfáltica se supone un Mr igual al de la base y así se obtiene el SN1, que debe ser absorbido por dicha capa. El espesor de D1 debe ser:

$D > SN1 / a1$ (valor mínimo requerido para la capa asfáltica) (Ecuacion 1).

$D1^* \geq SN1 / a1$ (valor real que debe ser usado)

$SN1^* = a1 \times D1^* \geq SN1$

$SN1^* + SN2^* \geq SN2$

- a, D, m, y SN están definidos en el texto y son los valores mínimos requeridos.
- El Asterisco “ * ” en D ó SN indica y representa el valor actualmente usado, que debe ser igual ó mayor al valor requerido.

Se adopta un espesor D1* ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa es: $SN1^* = a1 \times D1^*$ (Ecuacion 2).

Para determinar el espesor mínimo de la base, se entra al ábaco con el Mr de la subbase y entonces se obtiene el SN2, a ser absorbido por el concreto asfáltico y la base. Así: $D2^* \geq SN2 - SN1^* / a2 \times m2$ (Ecuacion 3).

Se adopta un espesor ligeramente mayor, $D2^*$, y el número estructural absorbido será:

$$SN2^* = a_2 \times m_2 \times D2^* \text{ (Ecuacion 4)}$$

Por último para la subbase, se entra con el M_r correspondiente a la subrasante y se obtiene $SN3 = SN$ para todo el paquete estructural calculado o sea la capa asfáltica, base y subbase. En este caso el espesor es:

$$D3^* \geq SN3 - (SN1^* + SN2^*) / (a_3 \times m_3) \text{ (Ecuacion 5)}$$

Se adopta un espesor ligeramente mayor $D3^*$ y se obtiene el número estructural absorbido por la subbase.

$$SN3^* = a_3 \times m_3 \times D3^* \text{ (Ecuacion 6)}$$

Como verificación tenemos:

$$SN1^* + SN2^* + SN3^* \geq SN \text{ (Ecuacion 7)}$$

Con el resultado que se obtiene en la fórmula (Ecuacion 7) de que el número estructural total debe ser como mínimo igual ó mayor a la suma de los números estructurales de cada capa, el criterio es que cada capa del paquete estructural queda protegida de los esfuerzos a los cuales va a ser sometida.

Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores de capas que estén sobre otras que tengan un módulo de resiliencia mayor de 280 Mpa (40,000 PSI); en estos casos, el espesor de la capa colocada sobre otra que tenga estas características, deberá ser definida por el costo-eficiencia de la misma ó utilizar espesores mínimos desde el punto de vista constructivo; esto quiere decir, que como la capa de abajo tiene un módulo de resiliencia alto, la capa que se coloque encima de ella deberá tener como mínimo un módulo de resiliencia igual ó mayor, y se decidirá si es necesario colocarla ó se utiliza el mínimo especificado.

(AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento Flexible, 1993)

6-2 Diseño de Estructura de Pavimento Rígido.

El método de diseño AASHTO, originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años en el estado de Illinois, con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones deterioro-solicitación de las distintas secciones ensayadas.

A partir de la versión del año 1986, y su correspondiente versión mejorada de 1993, el método AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original.

Se ha elegido el método AASHTO, porque a diferencia de otros métodos, éste método introduce el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario.

A continuación, se describirán brevemente cada uno de los factores o parámetros necesarios para el diseño de pavimentos rígidos según el método AASHTO 93.

El diseño del pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera.

Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio. La Ecuación Básica para el Diseño de Pavimento Rígido es la siguiente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento Rígido, 1993)

Ecuación básica de Diseño de Pavimento Rígido AASHTO 1993.

$$\log_{10} W_{18klb} = Z_R \cdot S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{(1.624 \times 10^7)}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \\ * \log_{10} \left(\frac{S'_c * C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 * J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right)} \right)$$

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Donde:

W_{18klb} : Numero previsto de aplicaciones de carga por eje simple equivalente a 18Klb.

Z_R : Desviación estándar normal.

S_0 : Error estándar combinado en la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento.

D = Espesor (en pulgadas) de la losa del pavimento.

ΔPSI = Diferencia entre los índices de serviciabilidad inicial (P_0) y final (P_T).

P_0 : Índice de Serviciabilidad Inicial.

P_t : Índice de serviciabilidad final.

S'_c : Módulo de rotura (psi) para concreto de cemento portland usado en un proyecto específico.

C_d : Coeficiente de drenaje.

J = coeficiente de transmisión de carga en las juntas.

E_c : Módulo de elasticidad del concreto, en Mpa.

K = módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, sub-base o sub-rasante), en la que se apoya el pavimento de concreto.

6-2-1 Variables de diseño

Variables en Función del Tiempo.

Son la vida útil del pavimento y el periodo de análisis. Tienen el mismo significado que para pavimentos flexibles, por lo que no se las describirá aquí.

Variables a Considerar en este Método

- **Ejes Simples Equivalentes de 18klb a lo largo del Período de Diseño.**

Al igual que para pavimentos flexibles, el tránsito es reducido a un número de pasadas de ejes, en este método se requiere la transformación a ejes simples equivalentes de 82 KN (8.0 Toneladas Métrica o 18,000 Lbs.) Los ejes de diferentes pesos que circularán por el pavimento durante su período de diseño.

Conforme el número de carriles en ambas direcciones para efectos de diseño, el tránsito que se debe de tomar en cuenta es el que utiliza el carril objeto de diseño, por lo que generalmente se admite que en cada dirección circula el 50% del tránsito total (del que viaja en las dos direcciones) y que dependiendo del lugar puede variar entre 30% y 70%. El cálculo de los ejes simples equivalentes de 18 klb se realiza de igual manera como se explicó en el Diseño de Pavimento Flexible.

- **Desviación Normal Estándar Z_r .**

Esta variable define que, para un conjunto de variables (espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje, etc.) que intervienen en un pavimento.

El tránsito que puede soportar el mismo a lo largo de un período de diseño sigue una ley de distribución normal con una media M_t y una desviación típica S_o . Esta desviación se calcula mediante la Tabla 8 mostrada en el diseño de pavimentos flexibles.

- **Error Estándar Combinado S_o .**

El error estándar combinado es la variable que acota la variabilidad de todos los factores dentro de unos límites permisibles, con el fin de asegurar que la estructura del pavimento se comporte adecuadamente durante su periodo de diseño, el cual involucra la variabilidad inherente a los materiales y a su proceso constructivo. Se calcula mediante el tipo de construcción que se va a realizar y se muestran a continuación:

- Pavimentos Rígidos (0.35 - 0.39).
- Construcción Nueva (0.35).
- Sobrecapas (0.39).

Considerando las recomendaciones anteriores, se establece un valor 0.35 para Pavimentos de Concreto Hidráulico.

Espesor Tentativo D .

Es el valor del espesor tentativo de la capa de rodamiento que brinde el equilibrio de la ecuación básica de diseño de pavimento rígido para la AASHTO 1993.

- **Variación del Índice de Serviciabilidad ΔPSI .**

La serviciabilidad se usa como una medida del comportamiento del pavimento, la misma que se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario (comportamiento funcional), cuando éste circula por la vialidad.

También se relaciona con las características físicas que puede presentar el pavimento como grietas, fallas, peladuras, etc., que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura (comportamiento estructural).

El concepto de serviciabilidad está basado en cinco aspectos fundamentales resumidos como sigue:

- Las carreteras están hechas para el confort y conveniencia del público usuario.
- El confort, o calidad de la transitabilidad, es materia de una respuesta subjetiva de la opinión del usuario.
- La serviciabilidad puede ser expresada por medio de la calificación hecha por los usuarios de la carretera y se denomina la calificación de la serviciabilidad.
- Existen características físicas de un pavimento que pueden ser medidas objetivamente y que pueden relacionarse a las evaluaciones subjetivas. Este procedimiento produce un índice de serviciabilidad objetivo.
- El comportamiento puede representarse por la historia de la serviciabilidad del pavimento.

Cuando el conductor circula por primera vez o en repetidas ocasiones sobre una vialidad, experimenta la sensación de seguridad o inseguridad dependiendo de lo que ve y del grado de dificultad para controlar el vehículo.

El principal factor asociado a la seguridad y comodidad del usuario es la calidad de rodamiento que depende de la regularidad o rugosidad superficial del pavimento. La valoración de este parámetro define el concepto de Índice de Serviciabilidad Presente (PSI, por sus siglas en inglés).

Escoger el índice de serviciabilidad final P_t es una selección del valor más bajo que pueda ser admitido, antes de que sea necesario efectuar una rehabilitación, un refuerzo o una reconstrucción de un pavimento.

Como el índice de serviciabilidad final de un pavimento es el valor más bajo de deterioro a que puede llegar el mismo, P_o Llego a un valor de 4.5 para pavimentos de concreto hidráulico y 4.2 para pavimentos de asfalto. P_t para pavimento rígido esta dado en 2.0, 2.5 y 3.0; este se determina la mediante la experiencia del diseñador.

La diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial (P_o) y el índice de serviciabilidad final (P_t) es $\Delta PSI = P_o - P_t$.

- **Coefficiente de Drenaje “Cd”.**

El drenaje es el proceso mediante el cual el agua de infiltración superficial o agua de filtración subterránea es removida de los suelos y rocas por medios naturales o artificiales, se llama drenaje. El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de pavimentos.

El agua es el causante principal del deterioro de la estructura del pavimento, porque origina muchos efectos devastadores en él; siendo el peor, la pérdida de soporte del pavimento.

Para minimizar los efectos del agua sobre los pavimentos se debe:

- Prevenir el ingreso del agua al pavimento (drenaje superficial).
- Proveer de un drenaje para remover el agua rápidamente (drenaje subterráneo).
- Construir un pavimento suficientemente fuerte para resistir el efecto combinado de carga y agua.

Como es imposible impedir el ingreso del agua a la estructura del pavimento; es necesario la construcción de un sistema de sub-drenaje que permita remover rápidamente esta agua.

Los materiales de drenaje incluyen: agregados, geotextiles y tuberías. Los agregados se usan como capas de drenaje y drenes franceses o como material de filtro para sus protecciones. Los geotextiles son usados para reemplazar agregados como filtros. Las tuberías pueden ser perforadas, ranuradas o de junta abierta, siendo colocadas dentro de los drenes franceses para recolectar agua.

Los efectos del drenaje sobre el comportamiento del pavimento han sido considerados en el método AASHTO 1993 por medio de un coeficiente de drenaje (Cd). El drenaje es tratado considerando el efecto del agua sobre las propiedades de las capas del pavimento y sus consecuencias sobre la capacidad estructural de éste; y además el efecto que tiene sobre el coeficiente de transferencia de carga en pavimentos rígidos.

La tabla siguiente proporciona los valores recomendados por la AASHTO para el coeficiente de drenaje Cd, que depende de la propiedad con que cuentan las capas que constituyen la estructura del pavimento para liberar el agua libre entre sus granos, en función del tiempo durante el cual la estructura del pavimento está expuesta normalmente expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 6-11 Coeficientes de Drenaje

| Cd | Tiempo Transcurrido para que el Suelo libere el 50% de su Agua Libre | Porcentaje de Tiempo en que la Estructura del Pavimento está expuesta a Niveles de Humedad cercanas a la Saturación. | | | |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------|
| | | < 1% | 1 - 5% | 5 - 25% | > 25% |
| Excelente | 2 horas | 1.25 - 1.20 | 1.20 - 1.15 | 1.15 - 1.10 | 1.1 |
| Bueno | 1 día | 1.20 - 1.15 | 1.15 - 1.10 | 1.10 - 1.00 | 1 |
| Regular | 1 semana | 1.15 - 1.10 | 1.10 - 1.00 | 1.00 - 0.90 | 0.9 |
| Pobre | 1 mes | 1.10 - 1.00 | 1.00 - 0.90 | 0.90 - 0.80 | 0.8 |
| Muy Pobre | Nunca | 1.00 - 0.90 | 0.90 - 0.80 | 0.80 - 0.70 | 0.7 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

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

- La calidad del drenaje, que viene determinado por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento.
- Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación. Este porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje. Para el caso se definen varias calidades de drenaje, como se muestra en la tabla 6-11 anteriormente mostrada.

- **Coeficiente de Transmisión de Carga (J).**

Las cargas de tránsito deben ser transmitidas de una manera eficiente de una losa a la siguiente para minimizar las deflexiones en las juntas. Las deflexiones excesivas producen bombeo de la subbase y posteriormente rotura de la losa de concreto. El mecanismo de transferencia de carga en la junta transversal entre losa y losa se lleva a efecto de las siguientes maneras:

- Junta con dispositivos de transferencia de carga (pasadores de varilla lisa de acero) con o sin malla de refuerzo por temperatura.
- Losa vaciada monolíticamente con refuerzo continuo, (acero de refuerzo de varilla corrugada armada en ambas direcciones) no se establece virtualmente la junta transversal, tomándose en cuenta para el cálculo del acero estructural la remota aparición de grietas transversales.
- Junta transversal provocada por aserrado cuya transferencia de carga se lleva a efecto a través de la trabazón entre los agregados.

La capacidad de una estructura de pavimento de concreto para transferir (distribuir) cargas a través de juntas o grietas es tomado en cuenta en el método AASHTO 93 por medio del coeficiente de transferencia de carga J. Los dispositivos de transferencia de carga, trabazón de agregados y la presencia de bermas de concreto tienen efecto sobre éste valor. La tabla siguiente establece rangos de los coeficientes de transferencia de carga para diferentes condiciones desarrolladas a partir de la experiencia y del análisis mecanístico de esfuerzos.

Como se puede apreciar en esta tabla el valor de J se incrementa a medida que aumentan las cargas de tráfico, esto se debe a que la transferencia de carga disminuye con las repeticiones de carga.

Tabla 6-12 – Coeficientes de Cargas

| Soporte Lateral | Si | No | Si | No | Si | No | Tipo |
|--------------------|-------------------------------------------------|-----|-----------------------|-----|------------------------------------------|-----|----------------------------------|
| ESAL's en Millones | Con pasadores con o sin Refuerzo de Temperatura | | Con Refuerzo Continuo | | Sin Pasadores (Fricción entre Agregados) | | |
| Hasta 0.3 | 2.7 | 3.2 | 2.8 | 3.2 | - | - | Calles y Caminos Vecinales |
| 0.3 - 1.00 | 2.7 | 3.2 | 3 | 3.4 | - | - | |
| 1.00 - 3.00 | 2.7 | 3.2 | 3.1 | 3.6 | - | - | |
| 3.00 - 10.00 | 2.7 | 3.2 | 3.2 | 3.8 | 2.5 | 2.9 | Caminos Principales y Autopistas |
| 10.00 - 30.00 | 2.7 | 3.2 | 3.4 | 4.1 | 2.6 | 3 | |
| más de 30 | 2.7 | 3.2 | 3.6 | 4.3 | 2.6 | 3.1 | |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

El uso de bermas de concreto unidas o losas ensanchadas reducen las tensiones y deformaciones en una losa. Es por eso que se usan valores menores de J. La razón para tomar J menores en pavimentos con bermas de concreto unida es porque se supone que los vehículos no transitarán por la misma.

Es necesario tener en cuenta que la zona crítica de la losa es la esquina y con esta premisa las cargas se alejan de ella, permitiendo una reducción de espesores.

- **Módulo de Elasticidad del Concreto E_c .**

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación.

Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto.

En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura.

El Módulo de elasticidad del concreto (E_c) se puede determinar conforme el procedimiento descrito en la norma ASTM C-469. O correlacionarlo con otras características del material como es la resistencia a la compresión. El módulo de Elasticidad se determina como se explica en los Ensayos de Mezclas en los siguientes capítulos.

- **Factor de Pérdida de Soporte Ls.**

Este factor, LS (loss of support = pérdida de soporte) es incluido en el diseño de pavimentos rígidos para tomar en cuenta la pérdida potencial de soporte proveniente de la erosión de la subbase y/o movimientos diferenciales verticales del suelo.

Deberá también considerarse este factor en términos de los movimientos verticales del suelo que pueden resultar de vacíos bajo el pavimento.

Aun cuando se utilice una subbase no erosionable, pueden desarrollarse vacíos, reduciendo la vida del pavimento.

La Tabla siguiente proporciona algunos rangos sugeridos por las AASHTO para la pérdida de soporte, dependiendo del tipo de material (específicamente su rigidez o módulo elástico). Mediante la Siguiete Tabla se determina la perdida de soporte:

Tabla 6-13 - Pérdida de Soporte

| Tipo de Material | Perdida de Soporte |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Base Granular tratada con Cemento (E = 1000000 a 2000000 psi) | 0.00 - 1.00 |
| Mezclas de Agregados con Cemento (E = 500000 a 1000000 psi) | 0.00 - 1.00 |
| Bases Tratadas con Asfalto (E = 350000 a 1000000 psi) | 0.00 - 1.00 |
| Mezclas Bituminosas Estabilizadas (E = 40000 a 300000 psi) | 0.00 - 1.00 |
| Estabilizados con Cal (E = 20000 a 70000 psi) | 1.00 - 3.00 |
| Materiales Granulares sin Ligante (E = 15000 a 45000 psi) | 1.00 - 3.00 |
| Materiales Granulares Finos o Subrasante Natural (E = 3000 a 40000 psi) | 2.00 - 3.00 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

- **Módulo de Reacción “k”.**

Este factor nos da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci). Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere tiempo y es costosa, el valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la razón de soporte california (CBR) o las pruebas de valores R.

El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k; las variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento. La determinación del Módulo de Reacción “k” se explicara en el Capítulo de Ensayo de Suelos, es un parámetro meramente de Laboratorio.

- **Módulo de Rotura (S'_c).**

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión. El módulo de rotura requerido por el procedimiento de diseño es el valor medio determinado después de 28 días utilizando el ensayo de carga en los tercios. De esta manera, se obtiene en el tercio medio una zona sometida a un momento flector constante igual a $PL/3$ y la rotura se producirá en cualquier punto de este tercio medio con la única condición que exista allí una debilidad. Este ensayo es recomendable frente al ensayo de carga en el punto medio, en el cuál la rotura se producirá indefectiblemente en dicho punto (punto de aplicación de la carga) donde el momento flector es máximo. El módulo de rotura también se puede determinar a través de las siguientes correlaciones:

- Estimación a través de la resistencia de compresión del concreto.

$$S'_c = k * (f'_c)^{0.5} \quad 7 < k < 12;$$

Donde: f'_c : resistencia a compresión del concreto (psi).

- Estimación a través de la resistencia a la tracción indirecta.

$$S'_c = 210 + 1.02(T.I.);$$

Dónde: T. I = Tracción Indirecta en las probetas en psi.

Los módulos de rotura varían entre 400 psi y 700 psi, llegando incluso a valores de 1200 psi, en concreto.

Capítulo VII

7. Ensayos requeridos para el diseño de una estructura de pavimento.

7-1 Ensayos de Suelos.

Los Ensayos en Campo y de Laboratorio que se deben realizar a los suelos son de vital importancia para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, las cuales son su composición granulométrica, su estabilidad y su capacidad de soporte de los suelos. Las propiedades de los suelos para subrasante, subbase y base son datos importantes para realizar los diseños de pavimento flexible y rígido mediante el Método AASHTO 1993.

El método de diseño de pavimentos AASHTO-93 contempla considerar en sus ecuaciones básicas de diseño de espesores de pavimentos el Módulo de Resiliencia para el Pavimento Flexible y el Módulo de Reacción para el Pavimento Rígido, por lo cual estos ensayos son indispensables para realizar el Diseño de cada pavimento. Estos ensayos se acompañan de otros adicionales que son necesarios, los cuales son los siguientes:

- Ensayo de Granulometría.
- Ensayo de Contenido de Humedad.
- Ensayo de los Límites Atterberg.
- Proctor Estándar y Modificado.
- Ensayo del Valor Soporte California.
- Ensayo Módulo de Reacción.
- Ensayo Módulo Resiliente.

7-1-1 Ensayo granulométrico.

El Ensayo de Granulometría sirve para determinar cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas del suelo. Existen diferentes procedimientos para la determinación de la composición granulométrica de un suelo. El procedimiento más común es el tamizado.

Así también es posible su clasificación mediante los Sistemas de Clasificación de Suelos AASHTO, SUCS y HRB. Este ensayo es muy importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases y subbases de las carreteras dependen de este ensayo.

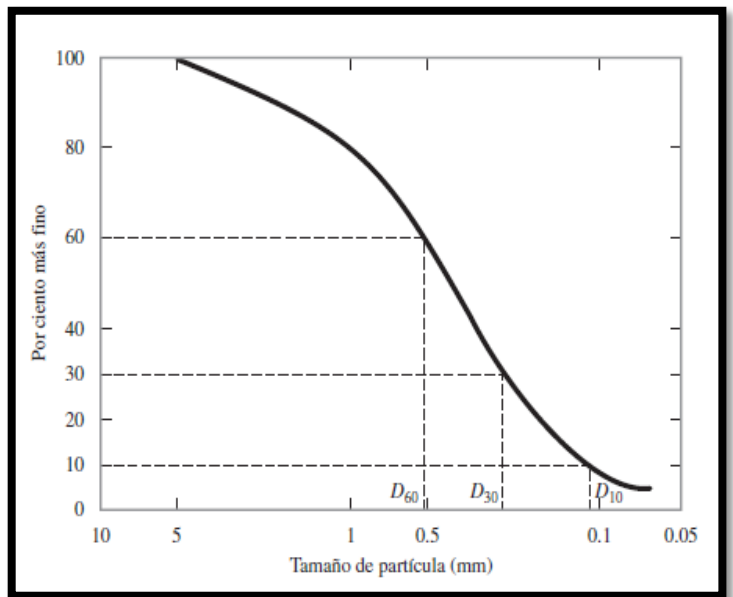
Análisis de Tamices: Para obtener la distribución de tamaños de las partículas se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente.

El tamiz de tamaño mas pequeño que se debe utilizar para este tipo de prueba es el tamiz N° 200. El metodo de analisis mecanico por tamices se utiliza para suelos con tamaños de particulas mayor a 0.075mm. Los tamices tienen su numeracion y abertura indicados en la tabla siguiente:

Tabla 7-1 - Tamaños Estándares de Tamices.

| N° Tamiz | Abertura (mm) |
|----------|---------------|
| 4 | 4.750 |
| 6 | 3.350 |
| 8 | 2.360 |
| 10 | 2.000 |
| 16 | 1.180 |
| 20 | 0.850 |
| 30 | 0.600 |
| 40 | 0.425 |
| 50 | 0.300 |
| 60 | 0.250 |
| 80 | 0.180 |
| 100 | 0.150 |
| 140 | 0.106 |
| 170 | 0.088 |
| 200 | 0.075 |
| 270 | 0.053 |

Figura 7-1 – Curva de Distribución Granulométrica.



Fuente: (Fundamentos de Ingenieria Geotecnica, Braja M. Das, 2015).

Calculos Necesarios para el Analisis por Tamices.

Masa Retenida: La masa retenida(gr) resulta del tamizado que se realizo a la muestra, este es diferente en cada tamiz.

Masa Acumulativa (MA).

$$MA = MA_{anterior} + MA_{actual}$$

Donde:

MA_{anterior}: Masa Acumulativa anterior(gr); MA_{actual}: Masa Acumulativa actual (gr).

Porcentaje de Fino (F).

$$F = \frac{\sum MA_{\text{Total}} - MA_{\text{por tamiz}}}{\sum MA_{\text{Total}}}$$

Donde: F: Porcentaje de Finos, $\sum MA_{\text{todos los tamices}}$; $MA_{\text{por tamiz}}$.

La curva de distribución de tamaño de partículas puede ser utilizada para comparar diferentes sólidos. A partir de estas curvas pueden determinarse también tres parámetros básicos de suelos que se usan para clasificar granularmente los suelos, estos tres parámetros son:

- Tamaño Efectivo.
- Coeficiente de Uniformidad.
- Coeficiente de Gradación.

El diámetro en la curva de distribución de tamaño de partícula correspondiente al 10% más fino se define como tamaño efectivo o D_{10} .

Coeficiente de Uniformidad.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Coeficiente de Gradación.

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

D_{30} : diámetro correspondiente al 30% más fino en la curva de distribución.

D_{60} : diámetro correspondiente al 60% más fino en la curva de distribución.

Para suelos de tamaño inferior a 0.074mm se utiliza el método del Hidrometro, basado en la Ley de Stokes.

7-1-2 Ensayo del contenido de humedad.

Este ensayo tiene por finalidad determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo. El contenido de humedad de una masa de suelo, está formado por la suma de sus aguas libre, capilar e higroscópica.

La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de los suelos (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica.

El metodo tradicional de determinacion de la humedad del suelo en laboratorio, es por medio del secado a horno, donde la humedad de un suelo es la relacion expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las particulas solidas o sea:

$$W(\%) = \frac{(W_{Tara} + W_{Suelo Humedo}) - (W_{Tara} + W_{Suelo Secado al Horno})}{(W_{Tara} + W_{Suelo Secado al Horno}) - (W_{Tara})} * 100$$

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde: W = contenido de humedad en la muestra(%).

W_w = peso del agua, W_s = peso seco del material.

W_{Tara} = peso de la tara donde ubica la muestra, $W_{Suelo Humedo}$ = peso del suelo natural.

$W_{Suelo Secado al Horno}$ = peso de la muestra de suelo despues de estar en el horno.

Tabla 7-2 – Cantidad de Muestra a Ensayar según el Tamaño Maximo.

| Tamaño Máximo de las Partículas (mm) | Cantidad a Ensayar (gr) |
|--------------------------------------|-------------------------|
| 50 | 3000 |
| 25 | 1000 |
| 12.5 | 750 |
| 5 | 500 |
| 2 | 100 |
| 0.5 | 10 |

Fuente: (CivilGeeks, Ensayo del Contenido de Humedad, 2015).

7-1-3 Ensayo de los Limites de Atterberg.

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos a traves de la transicion entre los estados solido, semisolido, plastico y liquido, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo.

- **Limite Liquido (LL):** Limite entre los estados liquido y plastico, expresado en porcentaje. Si el $LL > 50\%$ Se tiene un CBR de 2 a 5%
- Si el $LL < 50\%$ el CBR es de 5 a 15%
- **Limite Plastico (LP):** Limite entre los estados plasticos y semisolido, expresado en porcentaje.
- **Limite de Contraccion (LC):** Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y se contrae al perder humedad.

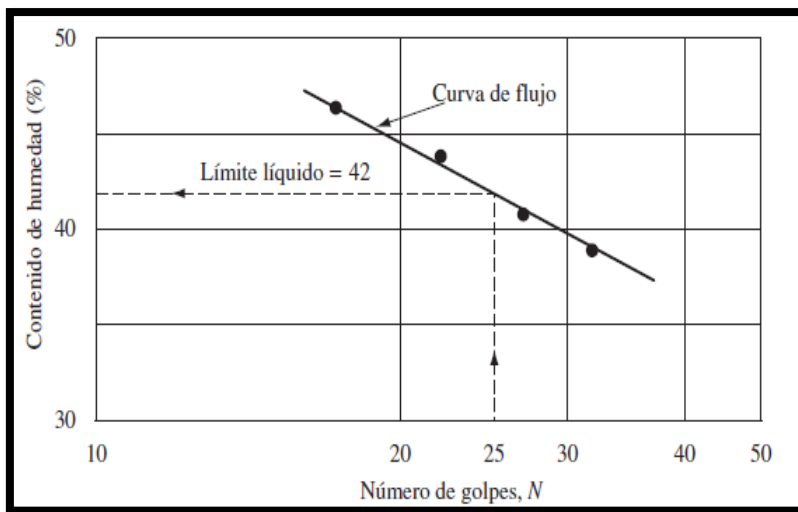
Tabla 7-3 – Estado de los Sólidos.

| Sólido | Semisólido | Plástico | Semilíquido | Líquido |
|--------|------------|----------|-------------|---------|
| LC | LP | | LL | |

Calculo del CBR apartir de los Limites de Atterberg.

$$CBR = \frac{45}{LL * IP} (\%)$$

Figura 7-2 - Curva de Flujo para la Determinación del Límite Líquido.



Fuente: (Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das, 2015).

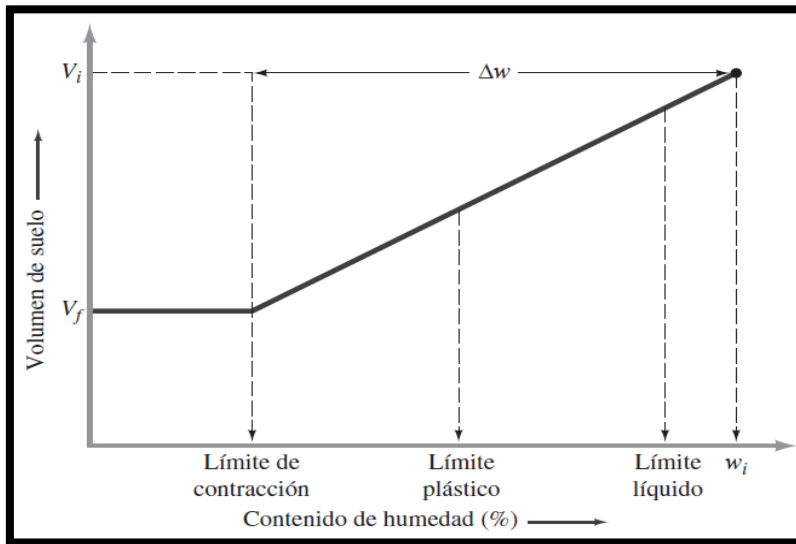
Al graficar los datos de humedad vrs Numero de golpes para cada muestra, se traza una recta desde el dato de 25 golpes a tocar la curva de flujo y luego se proyecta hacia la izquierda y el dato de humedad que intersecta es nuestro limite liquido.

Limite de Contraccion.

La masa de suelo se contrae a medida que éste pierde humedad gradualmente. Con la pérdida continua de humedad se alcanza un estado de equilibrio hasta el punto en el que más pérdida de humedad no dará lugar a ningún cambio de volumen adicional (figura 7-3).

El contenido de humedad, en porcentaje, en el que el cambio de volumen de la masa de suelo cesa se define como límite de contracción. El tamaño de la muestra de ensayo sera de aproximadamente 30gr y debera pasar completamente por el tamiz de 0.5mm.

Figura 7-3 – Definición del Limite de Contracción.



Fuente: (Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das, 2015).

Calculos Necesarios para el para el Limite de Contracción.

$$SL = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} \right) (100) - \left[\frac{(V_i - V_f)(\rho_w)}{m_2} \right] (100)$$

Donde:

m_1 : masa de la porcion de suelo mojado en el plato al inicio de la prueba(gr).

m_2 : masa de la porcion de suelo seco(gr), ρ_w : densidad del agua $\left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$.

V_i : volumen inicial de la porcion de suelo humedo(cm^3).

V_f : volumen de la porcion de suelo secada en el horno(cm^3).

7-1-4 Ensayo Proctor.

El Ensayo de Compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la densidad seca máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, a una energía de compactación determinada.

La prueba está diseñada para imitar las condiciones del campo en el cual el suelo es compactado mediante el manejo de equipo de construcción pesado sobre capas de suelo múltiples veces antes de agregar otra capa y repetir el proceso.

Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados; el "Ensayo Proctor Standard" y el "Ensayo Proctor Modificado". La diferencia entre ambos se encuentra en la energía utilizada, la cual se modifica según el caso variando el número de golpes, el pisón (cambia altura y peso), el molde y el número de capas. Ambos ensayos se deben al ingeniero que les da nombre, Ralph R. Proctor (1933), y determinan la máxima densidad que es posible alcanzar para suelos, en determinadas condiciones de humedad y energía.

El ensayo consiste en compactar una porción de suelo en un cilindro con volumen conocido, haciéndose variar la humedad para obtener la curva que relaciona la humedad y la densidad seca máxima a determinada energía de compactación. El punto máximo de esta curva corresponde a la densidad seca máxima en ordenadas y a la humedad óptima en abscisas. Se puede conocer la densidad de un suelo a través de la prueba proctor estandar y modificada.

-Prueba Pactor estandar.

La Prueba Proctor Estandar esta dada por las Normas ASTM D-698 y AASHTO T-99, y consiste en compactar una muestra de suelo en un molde que tenga un volumen de 943.3cm³. El diametro del molde es de 101.16mm (10.16cm). Durante la prueba de laboratorio el molde se une a una placa de base en la parte inferior y a una extension en la parte superior.

El suelo se mezcla con cantidades variables de agua y luego es compactado en tres capas iguales por un martillo que agrega 25 golpes a cada capa. El martillo debe pesar 24.4N (masa = 2.5kg) y tener una caída de 304.8mm (30.488cm). Para cada prueba el peso unitario húmedo de compactación γ se puede calcular como:

$$\gamma = \frac{W}{Vol.Molde}$$

Donde: γ = Peso Unitario de Compactacion, W = Peso del Suelo Compactado en el Molde y $Vol.Molde$ = Volumen del Molde (943.3cm³). Para cada prueba, el contenido de humedad del suelo compactado es determinado en el laboratorio. Si se conoce el contenido de humedad, el peso unitario seco γ_d puede ser calculado de la siguiente manera:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}}$$

Donde: γ_d = Peso Unitario Seco, γ = Peso Unitario de Compactacion y

$W(\%)$ = Porcentaje de Contenido de Humedad.

Efecto del Tipo de Suelo sobre la Curva de Compactacion.

La distribución de tamaño, forma con los granos del suelo el peso específico de los suelos, y la cantidad y tipo de minerales de arcilla presentes, tiene una gran influencia en la unidad de peso seco máxima y el contenido de humedad óptimo. Mediante estudios de laboratorios se han observado 4 tipos diferentes de curvas de compactación, las cuales se muestran en la siguiente figura.

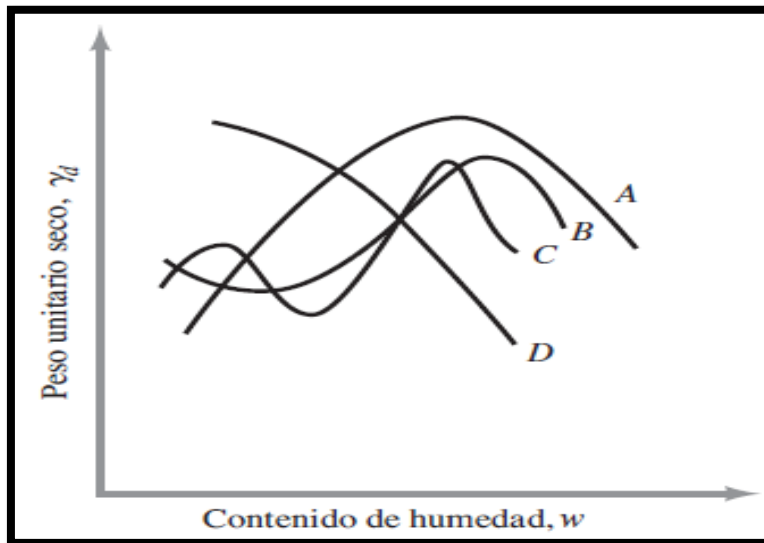


Figura 7-4 – Diferentes tipos de Curvas encontradas en Suelos.

Las curvas de compactación tipo A son las que tienen un solo pico; este tipo de curva se encuentra generalmente en los suelos que tienen un límite líquido entre 30 y 70. El tipo de curva B es con un pico y medio, y el tipo de curva C es una curva de doble pico.

Las curvas de compactación de los tipos B y C se pueden encontrar en los suelos que tienen un límite líquido inferior a aproximadamente 30. Las curvas de compactación de tipo D son las que no tienen un pico definido.

Los suelos con un límite líquido mayor que aproximadamente 70 pueden exhibir curvas de compactación de suelos de tipos C o D. Los suelos que producen curvas tipo C y D no son muy comunes.

Efectos del Esfuerzo de Compactacion.

La energía de compactación por unidad de volumen “E” usada en la prueba Proctor Estandar se describe mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{(NGC)(NC)(PM)(ACM)}{Vol_{\text{Molde}}}$$

Donde: NGC = Numero de Golpes por Capa, NDC = Numero de Capas,

PM = Peso del Martillo, ACM = Altura de Caída del Martillo.

Vol. Molde = Volumen del Molde.

Podemos concluir en que:

- ❖ A medida que aumenta el esfuerzo de compactación, el peso unitario seco máximo de compactación también se incrementa.
- ❖ A medida que aumenta el esfuerzo de compactación, el contenido óptimo de humedad se reduce en cierta medida.

Las conclusiones anteriores son verdaderas para todos los suelos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el grado de compactación no es directamente proporcional al esfuerzo de compactación.

-Prueba Proctor Modificada.

Con el desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación en campo, la prueba Proctor Estándar fue modificada para representar mejor las condiciones de campo.

Esto se refiere a veces como la Prueba Proctor Modificada dada por las Normas ASTM D-1557 y Norma AASHTO T-180. Para la realización de la prueba Proctor Modificada se utiliza el mismo molde, con un volumen de 943.3cm³, como el caso de la prueba proctor estándar.

Sin embargo el suelo es compactado en cinco capas por un martillo que pesa 44.5N (masa = 4.54kg) y tiene una caída de 457.2mm (45.72cm). El número de golpes de martillo para cada se mantiene en 25, como en el caso de la prueba Proctor Estándar.

La energía de compactación por unidad de volumen de suelo en la prueba modificada puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{(NGC)(NC)(PM)(ACM)}{Vol_{\text{Molde}}}$$

Donde: NGC = Numero de Golpes por Capa, NDC = Numero de Capas,

PM = Peso del Martillo, ACM = Altura de Caída del Martillo.

Vol. Molde = Volumen del Molde.

Debido a que el esfuerzo de compactación aumenta, los resultados de la prueba Proctor Modificada resulta en un aumento del peso unitario seco máximo de suelo. El aumento del peso unitario seco máximo se acompaña de una disminución del contenido de humedad óptimo.

Las especificaciones dadas para las pruebas Proctor adoptadas por ASTM y AASHTO sobre el volumen del molde (943.3cm³) y el número de golpes (25 golpes/capa) son generalmente adoptadas para los suelos de grano fino que pasan el tamiz N°4.

Sin embargo, en cada designación de prueba los tres diferentes métodos sugeridos reflejan el tamaño del molde, el número de golpes por capa y el tamaño máximo de las partículas en un agregado de suelo usado para la prueba.

Investigadores han demostrado relaciones empíricas en base a resultados de pruebas de compactación Proctor Modificada en 311 muestras de suelo, de las cuales 45 fueron del suelo de grava (GP, GP-GM, GW, GW-GM y GM), 264 eran de suelo arenoso (SP, SP-SM, SW-SM, SW, SC-SM, SC y SM) y dos eran de arcilla de baja plasticidad (CL).

Todas estas pruebas se llevaron a cabo utilizando la Norma ASTM 1557. De acuerdo a esas pruebas se han desarrollado las siguientes correlaciones:

$$\rho_d \left(\max \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \right) = [4804574G_s - 195.55(LL)^2 + 156971(R\#4)^{0.5} - 9527830]^{0.5}$$

$$\ln W_{\text{Optima}} = (1.195 \times 10^{-4})(LL)^2 - 1.964G_s - (6.617 \times 10^{-5})(R\#4) + 7.651$$

Donde: $\rho_d (\text{max})$ = Densidad máxima seca, W_{Optima} = Humedad Optima

G_s = peso específico de los sólidos del suelo, LL = Límite líquido (%)

$R\#4$ = Porcentaje retenido en el tamiz N°4.

Para suelos granulares con menos de 12% de finos (es decir, más fino que el tamiz N° 200), la densidad relativa puede ser un mejor indicador de la especificación para la compactación final de producto en el campo.

Basado en pruebas de compactación de laboratorio en 55 arenas limpias (menos de 5% más fino que el tamiz núm. 200), se encontro las siguientes relaciones:

$$D_r = A * D_{50}^{-B}$$

$$A = 0.216 * \ln E - 0.850$$

$$B = -0.03 * \ln E + 0.306$$

D_r = Densidad relativa maxima de compactación alcanzada con energía de C.

E = Energía de Compactación (KN * m/m³)

D_{50} = tamaño de grano medio (mm).

Gurtug y Sridharan (2004) propusieron correlaciones para el contenido optimo de humedad y el peso unitario seco máximo con el límite plástico (PL) de los suelos cohesivos. Estas correlaciones se pueden expresar como:

$$W_{optima} = [1.95 - 0.38(\log E)] * (LP)$$

$$\gamma_{d(max)} \left(\frac{KN}{M^3} \right) = 22.68e^{-0.0183W_{optima}(\%)}$$

Donde: LP = Límite Plástico (%), E = Energía de Compactación (KN/M³).

Para la prueba Proctor Modificada, E = 2700 KN/M³. Por tanto: $W_{optima} \approx 0.65 * PL$

$$\gamma_{d(max)} \left(\frac{KN}{M^3} \right) = 22.68e^{-0.012*PL}$$

Osman (2008), analizo una serie de resultado de pruebas de laboratorio de compactacion en suelos de grano fino (cohesivo), incluidos las correlaciones de Gurtug y Sridharan (2004). Sobre la base de este estudio se desarrollaron las siguientes correlaciones:

$$W_{optima}(\%) = (1.99 - 0.165 * \ln E) * (IP), \gamma_{d(max)} \left(\frac{KN}{M^3} \right) = L - M * W_{optima}(\%)$$

Donde: L = 14.34+1.195*ln E, M = -0.19+0.073*ln E, W_{optima} = Humedad optima (%)

IP = Indice de Plasticidad (%), γ_d (max) = peso unitario seco máximo (KN/M³)

E = Energía de Compactación (KN/M³).

7-1-5 Ensayo del Valor Soporte California (CBR).

La finalidad de este ensayo es medir la resistencia del suelo a la penetración de un pistón de 1935 mm² (3 pulg²) de área de una probeta de 15 cm (6 pulg) de diámetro y 12.5 cm (5 pulg) de altura, con una velocidad de 1.27 mm/min (0.05 pulg/min).

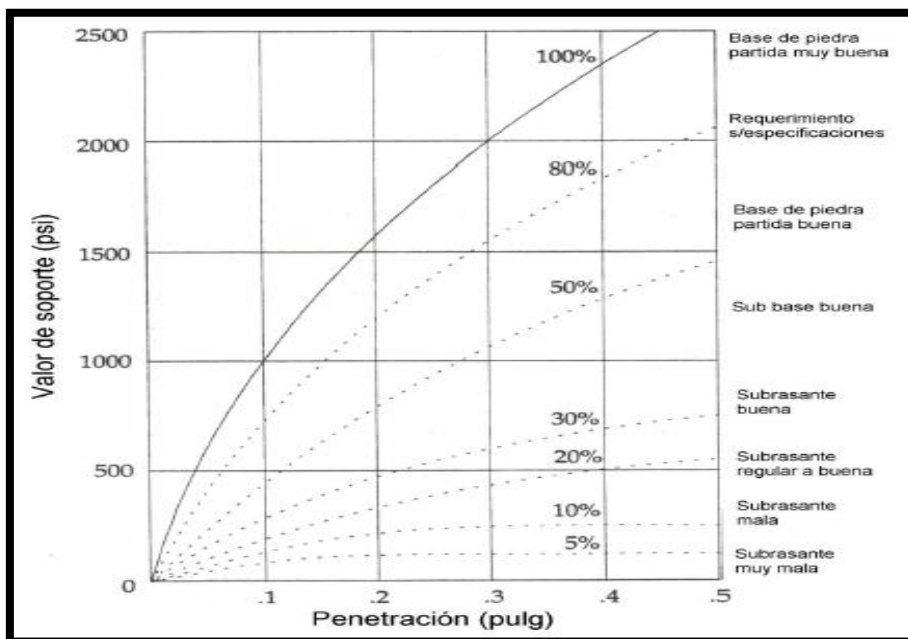
La fuerza requerida para forzar el pistón dentro del suelo se mide a determinados intervalos de penetración. Estas fuerzas se comparan con las necesarias para producir iguales penetraciones en una muestra patrón que es una piedra partida bien graduada.

La expresión que define al CBR es la siguiente:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Carga Unitaria del Ensayo}}{\text{Carga Unitaria Patron}} * 100 ; (\%)$$

El CBR se mide en porcentaje, el cual es muy variable, 2 a 3 % para arcillas plásticas a 70 % o más para materiales granulares de buena calidad. En la Figura 4.3 se muestran curvas de penetración para distintos tipos de suelo.

Figura 7-5 – Curvas de Penetracion para Distintos Tipos de Suelos.



Fuente: (CivilGeeks, Capacidad de Soporte CBR del Suelo, 2015).

Antes de determinar la resistencia a la penetración, generalmente las probetas se saturan durante 96 horas para simular las condiciones de trabajo más desfavorables y para determinar su posible expansión.

En general se confeccionan 3 probetas como mínimo, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es con 56, 25 y 10 golpes). El suelo al cual se aplica el ensayo, debe contener una pequeña cantidad de material que pase por el tamiz de 50mm y quede retenido en el tamiz de 20mm.

Calculos y Graficos.

- Se debe calcular la densidad inicial de la muestra ($\gamma_{inicial}$) antes de ser sumergida mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_{inicial} = \frac{(W_{molde+suelo compactado} - W_{molde})}{(V_{molde})} ; \left(\frac{gr}{cm^3}\right)$$

Donde: $W_{molde+suelo compactado}$ = peso del molde + peso del suelo compactado (gr).

W_{molde} = peso del molde (gr), V_{molde} = volumen del molde (cm^3).

- Se debe calcular la densidad saturada de la muestra ($\gamma_{saturada}$), luego de ser sumergida mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_{saturada} = \frac{(W_{molde+suelo compactado y saturado} - W_{molde})}{(V_{molde})} ; \left(\frac{gr}{cm^3}\right)$$

$W_{molde+suelo compactado y saturado}$

= peso del molde + peso del suelo compactado y saturado (gr).

W_{molde} = peso del molde (gr), V_{molde} = volumen del molde (cm^3)

- Se debe calcular la expansión de la muestra como porcentaje de la altura inicial (%E), mediante la siguiente expresión:

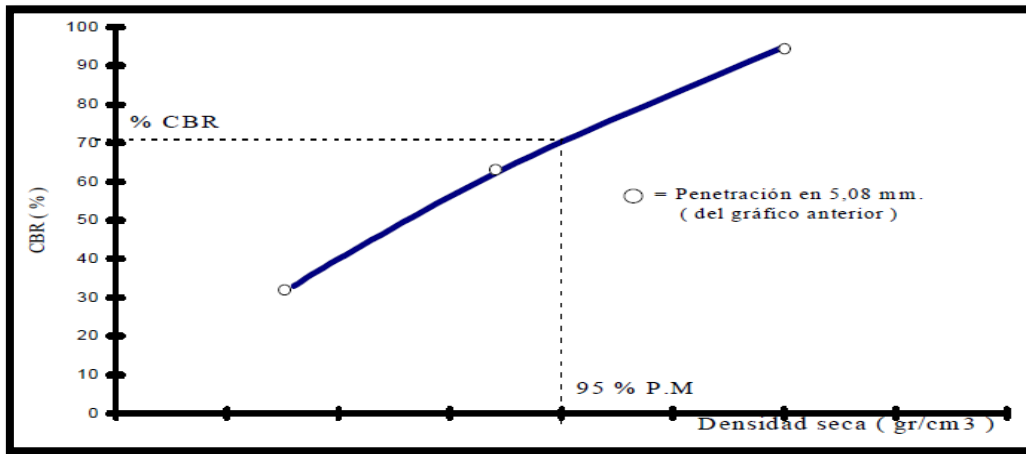
$$\%E = \frac{(E)}{(116.4 * 100)} (\%)$$

Donde: E = expansión en mm (diferencia de lecturas del dial de deformación [$L_f - L_i$])

116.4 = altura de la probeta en mm (altura del molde menos altura del disco espaciador. Usando los datos obtenidos anteriormente de las tres probetas se dibuja la curva CBR contra densidad seca (si se trata de suelos granulares se graficará la curva solo con la penetración de 5mm; en cambio para suelos arcillosos se graficará la de 2.5 y 5mm de penetración).

Con ella se puede determinar el CBR correspondiente a una densidad seca preestablecida ver la figura 6-5.

Figura 7-6 – Grafica de Determinacion de CBR.



Fuente: (CivilGeeks, Capacidad de Soporte CBR del Suelo, 2015).

Tabla 7-4 - Valores de CBR para Capas Subyacentes del Pavimento.

| CBR | Clasificación Cualitativa del Suelo | Uso |
|----------|-------------------------------------|-------------|
| 0 – 5 | Mala | Sub-rasante |
| 5 – 10 | Regular | Sub-rasante |
| 10 – 20 | Buena | Sub-rasante |
| 20 – 30 | Muy buena | Sub-rasante |
| 30 – 50 | Buena | Sub-base |
| 50 – 80 | Buena | Base |
| 80 – 100 | Muy buena (Excelente) | Base |

Fuente: (Universidad Catolica del Norte, Chile, 2015).

7-1-6 Ensayo del Modulo de Reaccion (Placa de Carga).

Los ensayos de placa de carga permiten determinar las características de resistencia-deformación de un terreno. El resultado del ensayo se representa en un diagrama de tensión-deformación.

A partir de este ensayo se pueden obtener numerosos datos entre los que se destacan:

- Determinación del módulo de reacción o coeficiente de Balasto (K).

- Determinación de las características de la curva carga contra deformación del suelo y Obtención del Coeficiente de Elasticidad del Suelo (E).

El módulo de reacción es un dato indispensable para el diseño de espesores de pavimentos rígidos; y aplicarse tanto a suelos en estado natural como compactados.

Calculos.

- Se debe calcular el módulo de reacción no corregido del suelo (K_u), mediante la siguiente expresión:

$$K_u = \frac{(70\text{Kpa})}{(\text{Deflexion Promedio})(\text{mm})}$$

Donde: K_u = módulo de reacción del suelo no corregido por saturación $\left(\frac{\text{Mpa}}{\text{mm}}\right)$.

- Se debe calcular el Módulo de Elasticidad (E) o deformación elástica del suelo mediante la siguiente expresión:

$$E = \left(\frac{q}{s}\right) * \left(\frac{D}{4}\right) * (1 - u^2) * (\pi)$$

Donde: $\left(\frac{q}{s}\right)$ = tangente a la curva carga deformación del ensayo.

s = asiento de la placa producido por una carga q (cm), q = carga aplicada $\left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)$.

D = diámetro de la placa(cm), u = coeficiente de Poisson del Suelo.

Una manera alternativa práctica de calcular el Módulo de Reacción es mediante el tipo de suelo que se encuentre en el lugar. La siguiente tabla muestra esta relación entre el tipo de suelo y el módulo de reacción correspondiente:

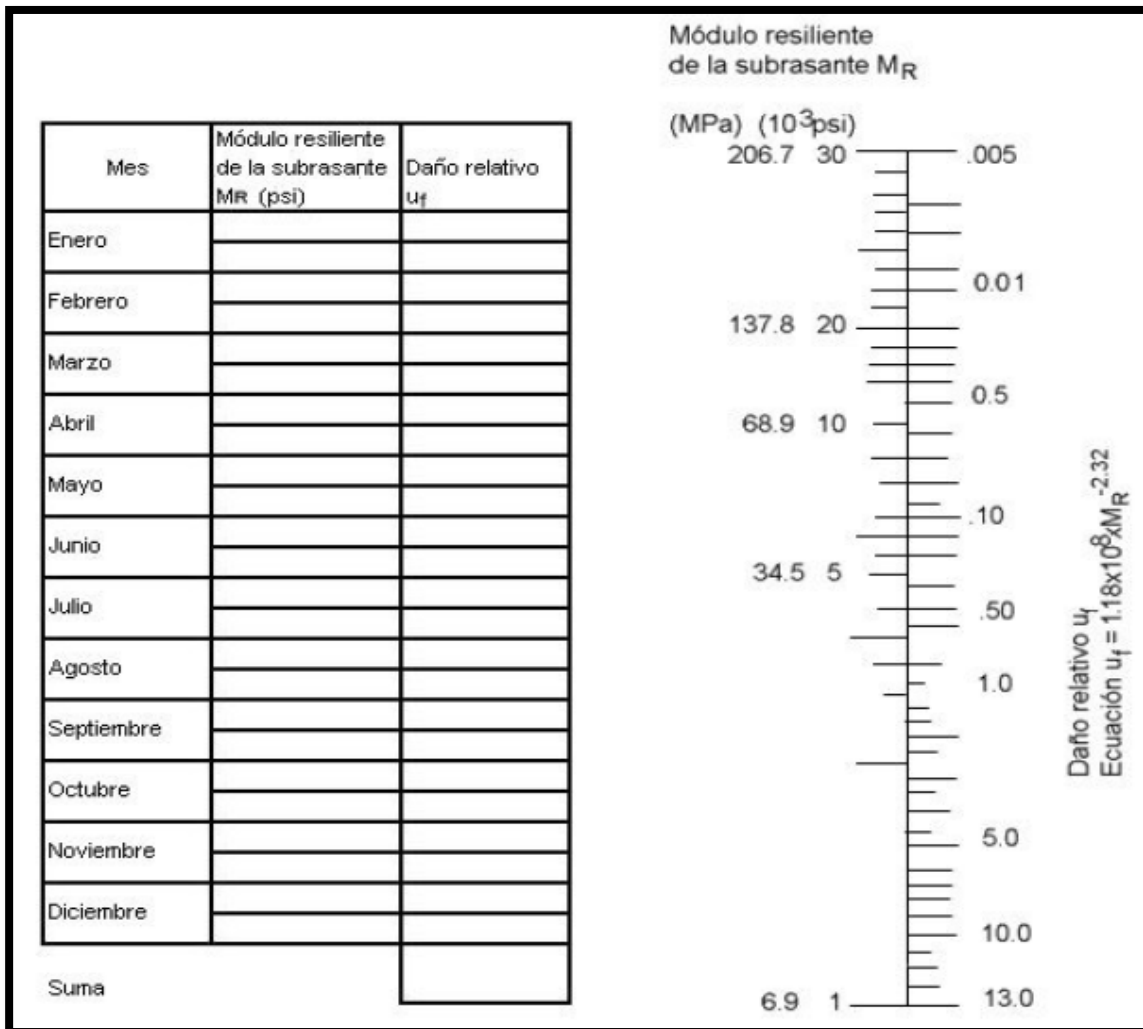
7-1-7 Ensayo del Módulo Resiliente.

Los materiales que conforman la sección estructural de un pavimento se ven sometidos a un gran número de aplicaciones de carga, es decir son afectados por esfuerzos de fatiga, debido a repetidas sollicitaciones, estos materiales empiezan a fracturarse o bien a acumular deformaciones dependiendo de su rigidez inicial, y esta es la principal causa del deterioro observado en la superficie de los pavimentos.

Debido al paso por de los vehículos por la superficie de rodamiento de un pavimento, esta empieza a distribuir los esfuerzos hacia las capas inferiores, las cuales, por esta razón se ven sujetas a esfuerzos cíclicos de compresión σ_c y luego de tensión σ_t los cuales van provocando deformaciones en toda la estructura del pavimento.

Proceso Alternativo para el Cálculo del Mr: Se determina el Mr para cada mes del Año en campo y en laboratorio, el módulo resiliente se debe ajustar. El Mr se determina mediante el siguiente ábaco:

Figura 7-7 – Abaco para Estimar el Modulo Resiliente Efectivo.



Fuente: (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA, 2002).

Daño Relativo (U_f) $\rightarrow U_f = 1.18 * 10^8 * M_r^{2.32}$

Luego se determina un daño relativo promedio anual sumando todos los valores de U_f y dividiendo por el número de periodos. El Mr Efectivo de la subrasante es el que corresponde al U_f promedio ya determinado y este es el valor a considerar en el diseño de un pavimento flexible.

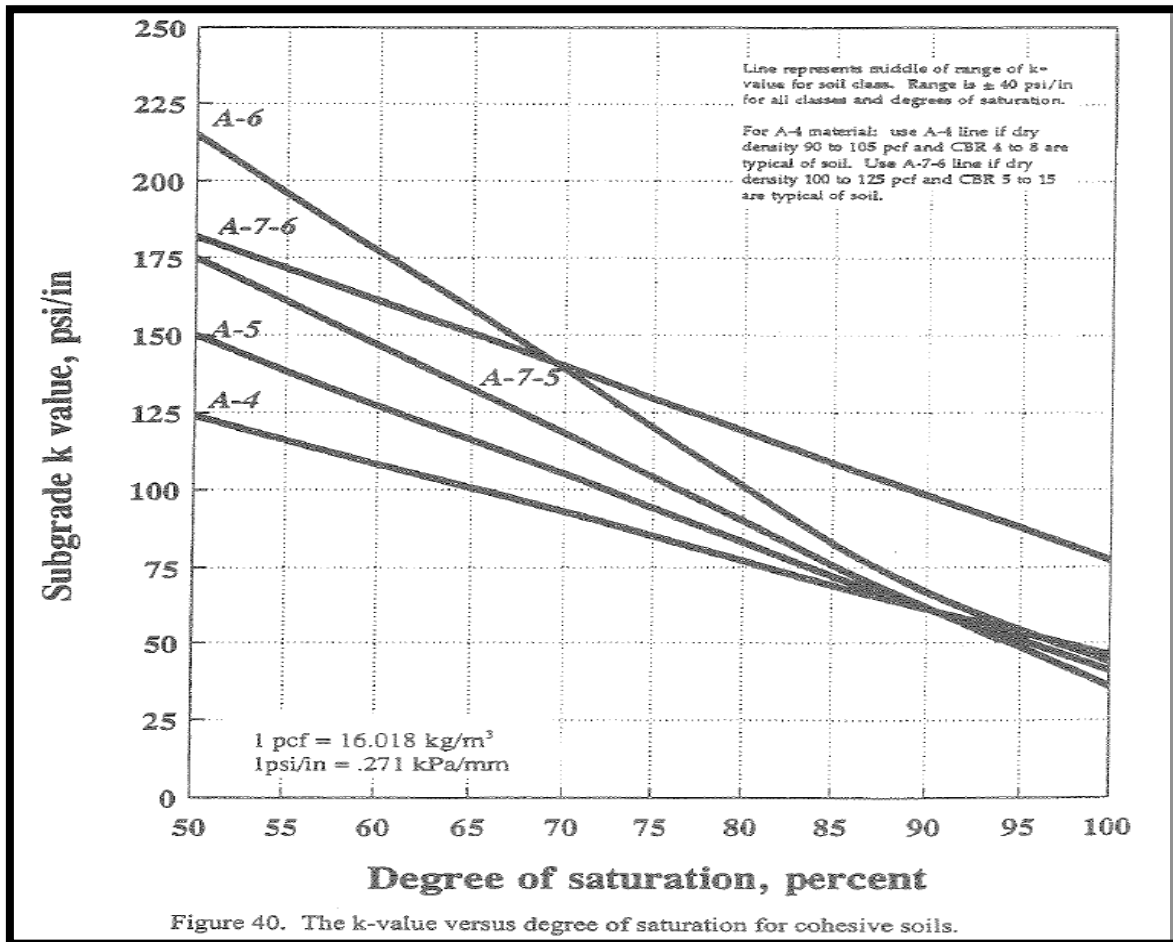
Tabla 7-5 – Rango de Valores “K” y “CBR” para Varios Tipos de Suelos.

| Clasificación AASHTO | Descripción | Clasificación Sistema Unificado | Densidad Seca (lb/ft ³) | CBR (%) | Valor "K" (psi/in) |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------|--------------------|
| Suelos de Granos Gruesos. | | | | | |
| A - 1 - a, Bien Graduada | Grava | GW, GP | 125 - 140 | 60 - 80 | 300 - 450 |
| A - 1 - a, Pobremente Graduada | | | 120 - 130 | 35 - 60 | 300 - 400 |
| A - 1 - b | Arena Gruesa | SW | 110 - 130 | 20 - 40 | 200 - 400 |
| A - 3 | Arena Fina | SP | 105 - 120 | 15 - 25 | 150 - 300 |
| Suelos A-2 (Materiales Granulares con Alto Contenido de Finos). | | | | | |
| A - 2 - 4, Gravoso | Grava Limosa | GM | 130 - 145 | 40 - 80 | 300 - 500 |
| A - 2 - 5, Gravoso | Grava Areno Limosa | | | | |
| A - 2 - 4, Arenoso | Arena Limosa | SM | 120 - 135 | 20 - 40 | 300 - 400 |
| A - 2 - 5, Arenoso | Arena Gravo Limosa | | | | |
| A - 2 - 6, Gravoso | Grava Arcillosa | GC | 120 - 140 | 20 - 40 | 200 - 450 |
| A - 2 - 7, Gravoso | Grava Areno Arcillosa | | | | |
| A - 2 - 6, Arenoso | Arcilla Arenosa | SC | 105 - 130 | 10 - 20 | 150 - 350 |
| A - 2 - 7, Arenoso | Arcilla Grava Arenosa | | | | |
| Suelos de Grano Fino. | | | | | |
| A - 4 | Limo | ML, OL | 90 - 105 | 4 - 8 | 25 - 165 |
| | Mezclas de Limo/Arena/Grava | | 100 - 125 | 5 - 15 | 40 - 220 |
| A - 5 | Limo mal Graduado | MH | 80 - 100 | 4 - 8 | 25 - 190 |
| A - 6 | Arcilla Plástica | CL | 100 - 125 | 5 - 15 | 25 - 255 |
| A - 7 - 5 | Arcilla Elástica Moderadamente Plástica | CL, OL | 90 - 125 | 4 - 15 | 25 - 215 |
| A - 7 - 6 | Arcilla Elástica Muy Plástica | CH, OH | 80 - 110 | 3 - 5 | 40 - 220 |
| Valor “K” de Suelo de Grano Fino es Altamente Dependiente de Grado de Saturación. | | | | | |

Fuente: (Instituto Boliviano del Cemento y Concreto, 2006).

Para los suelos del tipo A-6, el valor k depende del grado de saturación en que estos se encuentran, de acuerdo a los resultados del cálculo de humedad natural in situ.

Figura 7.8 Módulo de Reacción o Coeficiente de Balasto (K).



Fuente: (Instituto Boliviano del Cemento y Concreto, 2006).

-Ensayos de los Agregados.

Los agregados tienen dos usos principales dentro del campo de la ingeniería civil: primero como material base para cimientos y pavimentos; también como ingrediente del concreto hidráulico y concreto asfáltico. Los agregados son materiales pétreos que pueden ser naturales (arenas naturales o artificiales como la piedra triturada) y artificiales los cuales son utilizados para producir concreto. Los agregados se subdividen en finos y gruesos, o arena y grava respectivamente.

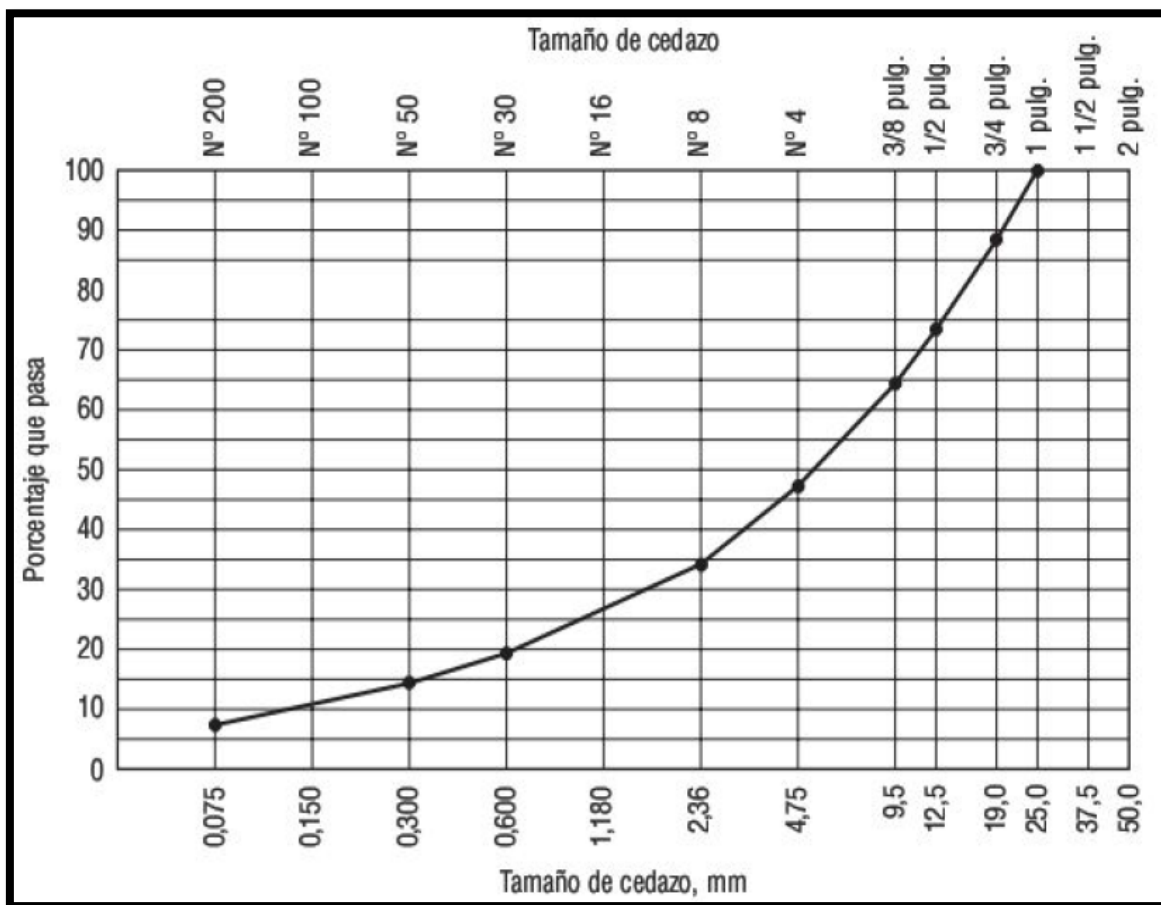
Las propiedades que son comúnmente evaluadas en los agregados son: su distribución granulométrica, su resistencia mecánica (resistencia o desgaste), su humedad, etc.,..

-Ensayo Granulométrico.

La granulometría de los agregados se evalúa haciéndolos pasar a través de una serie de tamices, los tamices retienen todas las partículas que sean más grandes que los agujeros mientras que las partículas más pequeñas pasaran a través del mismo. Los resultados del análisis granulométrico se describen mediante los porcentajes acumulados de agregados que pasan a través de, o que son retenidos por, un tamaño tamiz específico. La especificación que rige este ensayo es la (ASTM C-136)

Los resultados de los análisis granulométricos normalmente se dibujan en una gráfica semilogaritmica como la siguiente figura:

Figura 7-9 – Diagrama Granulométrico Semilogaritmico para Áridos.



Fuente: (CivilGeeks, Ensayo Analisis Granulometrico de Agregados, 2015).

Tabla 7-6 – Tamices para el Analisis Granulometrico de los Agregados.

| Numeración y Abertura de Tamices | | | |
|-----------------------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------|
| Tamiz (ASTM) | Tamiz (mm) | Abertura Real (mm) | Tipo de Suelo |
| 3" | 80 | 76.12 | Grava |
| 2" | 50 | 50.8 | Grava |
| 1 1/2" | 40 | 38.1 | Grava |
| 1" | 25 | 25.4 | Grava |
| 3/4" | 20 | 19.05 | Grava |
| 3/8" | 10 | 9.52 | Grava |
| N° 4 | 5 | 4.76 | Arena Gruesa |
| N° 10 | 2 | 2 | Arena Media |
| N° 20 | 0.9 | 0.84 | Arena Media |
| N° 40 | 0.5 | 0.42 | Arena Media |
| N° 60 | 0.3 | 0.25 | Arena Fina |
| N° 140 | 0.1 | 0.105 | Arena Fina |
| N° 200 | 0.08 | 0.074 | Arena Fina |

Fuente: (CivilGeeks, Ensayo Analisis Granulometrico de Agregados, 2015).

Los agregados normalmente se clasifican por su tamaño como agregados gruesos y agregados finos. La ASTM define los agregados gruesos como partículas que son retenidas por el Tamiz N° 4 y los agregados finos como partículas que pasan por el tamiz N° 4.

Cálculos Necesarios.

Peso Retenido (gr).

Es el peso retenido en cada uno de los tamices que se utilizan para el análisis granulométrico.

Porcentaje Retenido Parcial (PRP) (%).

$$PRP = \frac{PR}{PT} * 100$$

Porcentaje Retenido Acumulado (PAR) (%).

$$PRA = PRA_{\text{anterior}} + PRP_{\text{actual}}$$

Porcentaje que Pasa cada malla #4 (%).

$$\%QP = 100 - PRA$$

Calculo del Módulo de Finura.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenido Acumulado desde el tamiz N}^\circ 4 \text{ hasta el N}^\circ 100}{100}$$

Tamaño Nominal Máximo.

El tamaño máximo nominal corresponde al tamiz por el cual pase el 90% o más de la masa de un agregado.

Ensayo del contenido de humedad de los agregados.

La especificación de diseño que detalla este ensayo es la ASTM C 566-84.

La determinación del contenido de humedad de los agregados gruesos y finos se realiza de la misma manera que para los suelos, con la acepción de los pesos recomendados a usar en el ensayo acorde a los tamaños máximos de las partículas, esto se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 7-7 – Pesos Recomendados de las Muestras de acuerdo al Tamaño de las Partículas del Agregado.

| Tamaño Máximo del Agregado (mm) (plg) | Peso Recomendado de Muestra Húmeda a Usar (kg) |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 4.75, 0.187 (N°4) | 0.5 |
| 9.5, 0.375 (3/8") | 1.5 |
| 12.5, 0.5 (1/2") | 2 |
| 19, 0.75 (3/4") | 3 |
| 25, 1 (1") | 4 |
| 37.5, 1.5 (1 1/2") | 6 |

Fuente: (CivilGeeks, Ensayo Analisis Granulometrico de Agregados, 2015).

-Ensayo de la gravedad específica.

La gravedad específica y la absorción de los áridos se determinan de acuerdo con la especificación ASTM C127.

La absorción es importante para el concreto asfáltico, ya que el asfalto absorbido no estará disponible para actuar como aglomerante. Por tanto, los agregados altamente absorbentes requieren mayores cantidades de aglomerante asfáltico, lo que hace que la mezcla resulte menos económica.

La cantidad de agua que absorbe el agregado es importante en el diseño del concreto de cemento portland, ya que la humedad capturada en los huecos del agregado no estará disponible para mejorar la facilidad de trabajar el concreto y para reaccionar con el cemento.

No existe un nivel específico de absorción del agregado definido para los agregados empleados en el concreto de cemento portland, pero es preciso evaluar la absorción del agregado con el fin de determinar la cantidad apropiada de agua que hay que mezclar en el concreto.

Gravedad Específica y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso.

Gravedad Específica Corriente.

$$G_{s \text{ (aparente)}} = \frac{A}{B - C}$$

Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca.

$$G_{s \text{ (sss)}} = \frac{B}{B - C}$$

Gravedad Específica Aparente de los Agregados.

$$G_{s \text{ (aparente)}} = \frac{A}{A - C}$$

Dónde: A: Peso Seco de la muestra, B: peso de la muestra en condición saturada superficialmente seca, C: Peso de la muerte.

Porcentaje de Absorción.

$$\text{Porcentaje}_{\text{Absorción}} = \frac{B - A}{A} * (100)$$

Donde:

B: Peso de la muestra en condición de saturada superficialmente seca, A: Peso Seca de la muestra.

Gravedad Específica y Porcentaje de Absorción del Agregado Fino.

Gravedad Específica Corriente.

$$G_{s \text{ (aparente)}} = \frac{A}{v - w}$$

Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca.

$$G_{s \text{ (sss)}} = \frac{B}{v - w}$$

Gravedad Específica Aparente.

$$G_{s \text{ (aparente)}} = \frac{A}{(v - w) - (B - A)}$$

Dónde: A: Peso Seco de la muestra, B: peso de la muestra en condición saturada superficialmente seca, C: Peso de la muerte.

Porcentaje de Absorción

$$\text{Porcentaje}_{\text{Absorción}} = \frac{500\text{gr} - A}{A} * (100)$$

Donde: W_{muestra} : 500gr, A: Peso Seca de la muestra.

-Ensayo de los Pesos Unitarios Seco Suelto y Seco Compacto.

Este ensaye es importante debido a que en el diseño de mezclas de concreto hidráulico y de asfalto para pavimentos se requiere conocer los pesos unitarios volumétricos para realizar las debidas proporciones de las mezclas y obtener una resistencia apropiada de las mezclas frente a las cargas.

Los pesos unitarios secos sueltos y secos compactos se calculan estrictamente en laboratorio empleando las siguientes ecuaciones:

$$PVSS \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{(W_{\text{material suelto}} + W_{\text{recipiente}}) - (W_{\text{recipiente}})}{(V_{\text{recipiente}})}$$

$$PVSC \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{(W_{\text{material compactado}} + W_{\text{recipiente}}) - (W_{\text{recipiente}})}{(V_{\text{recipiente}})}$$

Donde:

$W_{\text{material suelto}}$: peso del material suelto, $W_{\text{recipiente}}$: peso del recipiente.

$W_{\text{material compacto}}$: peso del material compactado, $V_{\text{recipiente}}$: volumen del recipiente.

7-1-8 Ensayo de Desgaste Mediante la Máquina de los Ángeles.

La capacidad de los agregados para resistir el efecto dañino de las cargas está relacionada con la dureza de las partículas de agregado y se describe mediante la tenacidad o la resistencia a la abrasión. El agregado debe resistir la trituración, la degradación y la desintegración cuando se acumula formando montones, cuando se mezcla para obtener concreto de cemento portland o concreto asfáltico, cuando se coloca y compacta, o cuando se ve sometido a cargas.

El Ensayo de Abrasión Los Ángeles con especificación de diseño (ASTM C131, C535) evalúa la tenacidad y la resistencia a la abrasión de los agregados. En este ensayo, la muestra de agregado mezclada con una distribución de tamaño fijo se coloca en un gran tambor de acero con bolas de acero de tamaño estándar que actúan como carga abrasiva; el tambor se hace girar normalmente durante 500 revoluciones. Después, el material se extrae de la máquina y se pasa a través de un tamiz que retiene todo el material original. El porcentaje de pérdida de peso será el número de abrasión Los Ángeles.

Cálculos Necesarios.

$$\text{Porcentaje Desgaste} = \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1} \right) * 100$$

Donde:

P_1 : masa de la muestra seca antes del ensayo.

P_2 : masa de la muestra seca después del ensayo.

7-2 Ensayos del Concreto Asfáltico.

7-2-1 Muestreo de mezclas asfálticas.

Este ensayo describe el procedimiento para muestrear mezclas de materiales asfálticos con árido mineral usadas en pavimentos. Las muestras pueden usarse para cualquiera de los dos siguientes propósitos:

- Representar un promedio de la mezcla bituminosa.
- Determinar la variación periódica en las características de la mezcla con el propósito de controlar uniformidad.

-Extracción y Preparación de la Muestra.

Selección de la muestra: El muestreo es tan importante como el ensayo mismo. En consecuencia, el Laboratorista deberá tomar las precauciones necesarias para obtener muestras verdaderamente representativas de la mezcla bituminosa. Al muestrear se debe evitar la segregación del árido grueso y el mortero bituminoso. También se debe tener cuidado para prevenir la contaminación con polvo u otra materia extraña. (Fonseca D. , 2012)

Tamaño de la muestra: El tamaño de la muestra está determinado por el tamaño máximo de las partículas de árido en la mezcla. El tamaño mínimo de la muestra deberá estar de acuerdo con los requisitos de la Tabla 7-7.

Tabla 7-8 – Tamaño de la Muestra Bituminosa.

| Tamaño Máximo Nominal del Agregado (mm) | Mezcla a Granel (kg) | Área Mezcla Extendida (cm x cm) |
|------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| 2.5 | 2 | 15 x 15 |
| 5 | 2 | 15 x 15 |
| 10 | 4 | 15 x 15 |
| 12.5 | 6 | 20 x 20 |
| 20 | 8 | 25 x 25 |
| 25 | 10 | 30 x 30 |
| 40 | 12 | 30 x 30 |

Fuente: (CivilGeeks, Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, 2015).

Muestreo desde la Capa.: Puede tomar muestras desde la capa, aún sin compactar, cuando se desea complementar los controles de la Planta. Si desea conocer otras características de la mezcla, que dependan de la compactación de ésta, proceda a extraer testigos del pavimento terminado. Estos testigos deben cortarse de modo que no ocasionen distorsión en la mezcla y abarquen todo el espesor de la capa colocada.

-Muestreo de mezclas confeccionadas en sitio.

Las muestras de mezclas confeccionadas en sitio se toman con el propósito de determinar tanto las propiedades físicas de la mezcla, el contenido de ligante asfáltico, como la uniformidad del contenido de ligante asfáltico. Si el muestreo es en cordones, corte el cordón de un lado a otro en todo su espesor, evitando la contaminación y luego reduzca al tamaño deseado, mezclando y cuarteando. Tome una muestra cada 70 m y ensaye en forma separada.

Las muestras de pavimento terminado deben tomarse de la misma manera como se indica en “Muestreo desde la capa”.

7-2-2 Ensayo del contenido de ligante de mezclas asfálticas por centrifugas

El ensayo describe los procedimientos para determinar cuantitativamente el contenido de ligante asfáltico en una mezcla, mediante el proceso de centrifugación. Como solventes en el proceso de centrifugación se puede emplear tricloroetileno, cloruro de metileno o tricloroetano.

A los áridos recuperados se le puede efectuar análisis granulométrico, de acuerdo con el ensayo de los agregados, mostrado anteriormente. La muestra de ensayo, normalmente, debe ser el resultado final del cuarteo de una muestra obtenida según “Método de Muestreo de Mezclas”. El tamaño de la muestra de ensayo debe definirse de acuerdo al tamaño máximo nominal (TMN) del árido, tal como se muestra en la Tabla 7-8.

Tabla 7-9 – Tamaño de la Muestra de Ensayo de ligante asfáltico.

| Tamaño Máximo Nominal (mm) | Masa Mínima de la Muestra (gr) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 5 | 500 |
| 10 | 1000 |
| 12.5 | 1500 |
| 20 | 2000 |
| 25 | 3000 |
| 40 | 4000 |

Fuente: (CivilGeeks, Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, 2015).

Cálculos Necesarios.

Contenido de Cenizas en el Crisol.

$$C = M_{cf} - M_{ci}$$

C: Contenido de Cenizas en el Crisol.

M_{cf} : masa final del crisol (gr).

M_{ci} : masa inicial del crisol (gr).

Masa Total de Material Fino en el Volumen Solvente Recuperado.

$$M_{\text{Fino-Solvente}} = C * \frac{V_1}{V_2}$$

Donde:

C: Contenido de Cenizas en el Crisol (gr).

V_1 : Volumen total de solvente recuperado (ml).

V_2 : Volumen de la alicuota de solvente (ml).

Masa de Material Fino Retenido en el Filtro.

$$M_{\text{Fino Retenido en el Filtro}} = M_{\text{ff}} - M_{\text{if}}$$

M_{ff} : Masa final del filtro.

M_{if} : Masa inicial del filtro.

Porcentaje del Ligante Asfáltico.

$$B = \left[\frac{(M_1) - (M_2 + M_{\text{Fino-Solvente}} + M_{\text{Fino Retenido en el Filtro}})}{(M_2 + M_{\text{Fino-Solvente}} + M_{\text{Fino Retenido en el Filtro}})} \right] * 100$$

B: Porcentaje de Ligante asfáltico respecto al arido seco.

M_1 : masa seca de la muestra (gr).

M_2 : masa seca de la muestra lavada (gr).

$M_{\text{Fino-Solvente}}$: Masa total de material fino en el volumen solvente recuperado (gr).

$m_{\text{fino retenido en el filtro}}$: masa de material fino retenido en el filtro (gr).

-Densidad máxima de mezclas asfálticas sin compactar.

Este ensayo permite determinar la densidad máxima teórica de mezclas asfálticas sin compactar, a 25°C, así como el porcentaje de ligante absorbido por los áridos de la mezcla, de modo de cuantificar la cantidad total o efectiva de asfalto requerida por la misma.

El tamaño de la muestra de ensayo deberá estar de acuerdo al tamaño máximo nominal (TMN) del árido, según lo indicado en la Tabla 7-10:

Tabla 7-10 – Tamaño de la Muestra de Ensayo de la densidad de la mezcla.

| Tamaño Máximo Nominal (mm) | Masa Mínima de la Muestra (gr) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 37.5 | 4000 |
| 25 | 2500 |
| 19 | 2000 |
| 12.5 | 1500 |
| 9.5 | 1000 |
| 4.75 | 500 |

Fuente: (CivilGeeks, Laboratorio de Mecanica de Suelos y Materiales, 2015).

Cálculos Necesarios.

$$\gamma_{\text{maxima}} = \frac{M_m}{M_m + M_{\text{recipiente lleno con agua}} - M_{\text{rec.con agua y la muestra}}} * \rho_t$$

Donde:

γ_{maxima} : densidad maxima de la mezcla sin compactar $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$.

M_m : masa de la muestra a temperatura ambiente (gr).

$M_{\text{recipiente lleno con agua}}$: masa del recipiente lleno con agua(gr).

$M_{\text{rec.con agua y la muestra}}$: masa del recipiente lleno con agua y la muestra(gr).

ρ_t : densidad del agua a la temperatura de ensayo $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$.

7-3 Ensayos realizados al Concreto Hidráulico.

7-3-1 Ensayo de Resistencia a la Compresión.

Las mezclas de concreto hidráulico se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura de pavimento.

La resistencia a la compresión del concreto hidráulico es la medida más común de desempeño que se emplea para diseñar las estructuras de concreto hidráulico.

La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de libras por pulgada cuadrada.

Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 2500psi para concreto en uso residencial y 4000psi para estructuras de pavimentos.

Para realizar el ensayo se emplean moldes cilíndricos de 15cm de diámetro por 30cm de longitud, para cada edad se debe ensayar como mínimo 2 cilindros y trabajar con el valor promedio.

Se deben aceitar las paredes del molde, al llenar este se debe lograr una buena compactación, la cual puede realizarse con una varilla (método apisonado) si el asentamiento es mayor a 7.5cm o con vibrador (método vibrado) si el asentamiento es menor a 2.5cm.

La resistencia a la compresión se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$RC = \frac{P}{A}$$

Donde:

P: Carga máxima aplicada (kg), A: área de la sección transversal (cm^2).

RC: resistencia a la compresión del cilindro en $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$.

7-3-2 Ensayo de Resistencia a la Flexión.

La prueba de resistencia a la flexión (ASTM C78) es importante para el diseño y la construcción de carreteras y pavimentos de concreto hidráulico, debido a que nos da un indicativo de cómo se comporta a la flexión el pavimento y donde sufrirá las grietas debido a las cargas de los vehículos. La probeta se prepara en el laboratorio o a pie de obra de acuerdo a la especificación (ASTM C192 o C31), respectivamente.

La muestra debe tener una sección transversal cuadrada y una longitud igual a 3 veces la profundidad de la probeta. Las dimensiones recomendadas son una sección transversal de 0.15m por 0.15m y una longitud de 45cm.

Después de realizarse el debido procedimiento en el laboratorio, se debe determinar la resistencia a la flexión de la muestra mediante la fórmula siguiente:

$$R = \frac{M_C}{I} = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Donde:

R: resistencia a la flexión (Mpa, psi), M: momento flector máximo $\left(\frac{PL}{6}\right)$ (Lb * plg).

c: $\frac{d}{2}$ (mm, plg), I: momento de inercia $\left(\frac{bh^3}{12}\right)$ (mm⁴, plg⁴).

P: carga máxima aplicada que se distribuye equitativamente $\left(\frac{1}{2}\right)$ en cada uno

entre los 2 puntos (N, Lb).

L: longitud del vano (mm, plg), b: anchura media de la probeta (mm, plg).

d: profundidad media de la probeta (mm, plg).

Esta ecuación es válida siempre que la fractura se produzca en el tercio medio de la probeta.

Para un concreto de peso normal, la resistencia a la flexión puede ser aproximada mediante las siguientes ecuaciones:

$R = (0.62 \text{ a } 0.83) * (\sqrt{f'_c})$ (Mpa) ; para unidades del sistema internacional.

$R = (7.5 \text{ a } 10) * (\sqrt{f'_c})$ (psi) ; para unidades del sistema inglés.

Capítulo VIII.

8. Estudio de Caso.

Alternativas de diseño de espesores de pavimento para el proyecto Unikwas-Mulukuku.

8-1 Aspectos generales del proyecto en estudio

Localización del proyecto

El Proyecto se localiza a 236 Km de la Ciudad de Managua, sobre el Corredor Río Blanco-Siuna-Puerto Cabezas, iniciando en el kilómetro 239 y finalizando en el 242 (longitud de 3.0 km), entre los poblados de Unikwas-Mulukuku, en el municipio de Mulukuku, en el Caribe Norte de Nicaragua (RACN).



**Imagen 8-1 – Inicio del Proyecto
Unikwas-Mulukuku.**

Fuente: Biblioteca MTI

El proyecto tiene las coordenadas geográficas siguientes Latitud: 13°08'29.07" en el hemisferio norte y longitud: 85°00'05.19" en el hemisferio occidental. El final del tramo coincide con el estribo de entrada del puente Mulukuku, en las coordenadas geográficas: Latitud: 13°10'20.56" en el hemisferio norte y longitud 84°57'29.74" en el hemisferio Occidental.

La temperatura promedio anual del aire en esa región es de 79.97°F

La precipitación media anual es de 8.81" y la velocidad de viento promedio anual es de 8.94 Millas/hora

Estos datos fueron monitoreados por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) en esa región durante todo el año de 2014 y son los que se utilizaran para el diseño de las estructuras de pavimento con concreto Hidráulico.

El tramo que se diseñara es entre Unikwas-Mulukuku con longitud de 3km.

Macro localización del tramo de carretera Unikwas-Mulukuku

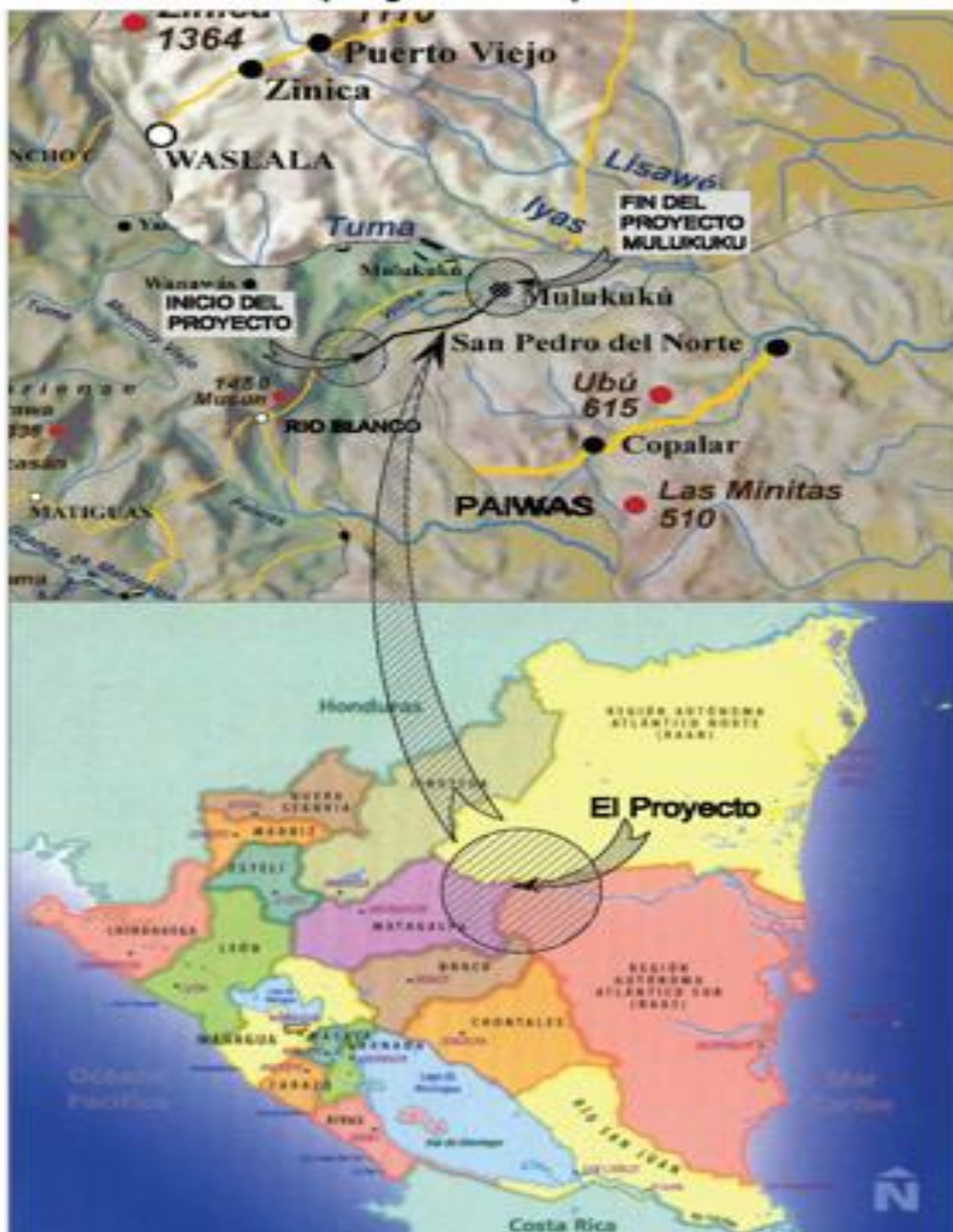


Figura 8.2 Macro y Micro localización del Proyecto Unikwas-Mulukuku.

Fuente: (LLANSA, 2015).

Descripción de la estructura existente

La estructura de pavimento existente consiste en una superficie de rodamiento compuesta por material de regular a mala capacidad de soporte (suelos gravosos y arcillosos). El Consultor evaluará la posibilidad de utilizar los suelos existentes en la estructura de pavimento a ser propuesta, considerando en su análisis estabilización con cemento.



**Imagen 8-3 – Sitios de Pegaderos
Estación 0+600 a la 0+900
Fuente: Biblioteca MTI**

En particular en la zona urbana de Mulukuku, para no levantar considerablemente los niveles de la rasante actual. Se ha encontrado de manera general las siguientes observaciones en relación al camino:

- Insuficiencia en el ancho de rodamiento, en los hombros de la carretera y en el espesor existente de la capa de rodadura.
- Capa de rodamiento existente conformada con materiales de mediana capacidad soporte (sub-rasantes débiles), presentando en todo el trayecto



**Imagen 8-4 – Final del Proyecto.
Puente Mulukuku.
Fuente: Biblioteca MTI.**

- Tiempo excesivo de permanencia de las aguas pluviales en los terrenos aledaños a la vía y en ésta, debido a la falta de drenaje, con lo cual la velocidad de escurrimiento de las aguas es bien reducida.
- Falta de drenaje longitudinal lo que ocasiona severos daños (grietas longitudinales y transversales, cárcavas, etc.) en la calzada del camino.

En general, todos estos factores han contribuido, al deterioro de la plataforma y estructura de pavimento que conforman el camino.

El Derecho de Vía y otras obras: Actualmente, en todo el sector rural del proyecto se observa la existencia de un derecho de vía amplio, de acuerdo a la concepción del proyecto se espera que no existan problemas con relación al derecho de vía en los tramos de carretera abierta, es decir fuera de los sectores urbanos. Se ha establecido un derecho de vía de 20 mts a cada lado del eje (franja de 40 mt) clasificando a la carretera como Troncal Secundaria.

Clasificación de la carretera

Clasificación: Atendiendo a los volúmenes de tráfico al que estará sujeto el tramo de carretera Unikwas – Mulukukú (el cual pertenece al tramo Wanawana – Mulukukú), NIC – 21B, rango menor a 400 vpd en el 2005 (última fecha de aforo realizada por el MTI), pero que tiene una tendencia a incrementar como lo muestra el tramo Río Blanco – Wanawana con un registro de 807 vpd en el 2010. Su posición geográfica y al hecho que esta carretera forma parte del corredor Puerta Viejas – Esquipulas – Muy Muy – Río Blanco – Mulukukú – Siuna – Puerto Cabezas.

Que une el pacífico con el atlántico de Nicaragua, y que actualmente está siendo mejorado por el MTI en el tramo Puerta Viejas – Esquipulas y se cuenta con el diseño final del tramo Esquipulas – Muy Muy, se da una clasificación de Troncal Secundaria (Troncal Rural según SIECA). Se bien es cierto los volúmenes de tráfico no justifican esta clasificación, esto se debe al mal estado del camino y no a su importancia estratégica, la cual será más relevante con los futuros proyectos de desarrollo del país, como es el canal interoceánico, en este orden de idea, una clasificación troncal secundaria es adecuada para este tramo.

Características geométricas actuales: La carretera discurre mayoritariamente a través de una topografía plana, con pocos sectores ligeramente ondulados. El alineamiento horizontal está constituido por curvas amplias y tangentes largas, lo que propicia el desarrollo de velocidades superiores a 60 Km/h. En lo que respecta al alineamiento vertical no se presenta pendientes fuertes, siendo el rango de pendientes entre 0.5 y 8%. El derecho de vía es amplio y el ancho del camino actual (calzada) es superior a los 6.60 metros.

Características constructivas actuales: Básicamente la estructura del camino no tiene sub-base ni base, solo una superficie revestida con material granular de baja calidad y en algunos sitios se ha perdido la capa de rodamiento.

La superficie de rodamiento se encuentra deteriorada, presentando algunas zonas inestables, baches y otras donde el material revestido ha perdido el material fino, lo que ocasiona grandes molestias al usuario y tiempos de recorridos excesivos. La sección típica actual es superior a 6.60 metros de rodamiento y no tiene hombros, se observa un derecho de vía entre 20 y 40 metros.

Vehículo de Diseño: Considerando los datos de los aforos de tráfico el vehículo representativo de la composición del tránsito es el C2, no obstante, con el objeto de proveer una mayor seguridad y comodidad a los usuarios se propuso como vehículo de diseño el semitrailer intermedio (WB-15 – según la designación de la AASHTO, T3S2 según la clasificación nacional), cuyas condiciones geométricas son más exigentes que las del C2.

Ancho de corona (8.20 metros): La distribución de los 8.20 metros de corona es la siguiente 1.20 metros de hombros, 0.60 metros a cada lado, más 7.00 metros de rodamiento. Se consideró el establecimiento de pequeños acotamientos para evitar la tradicional tentación de los conductores de convertir los caminos de dos carriles con acotamientos anchos en caminos de tres carriles, aumentando de esta manera los riesgos. Ancho de rodamiento (7.00 metros en zona rural y 6.40 metros en zona urbana): El ancho de la superficie de rodamiento es el factor que más influye en el costo, pero también garantizar seguridad y comodidad al usuario.

Derecho de Vía: El derecho de Vía se fijó en una franja de 40 metros (20 metros a cada lado del eje de la carretera) en correspondencia con lo establecido en las Normas SIECA, las cuales establecen un derecho de vía entre 40 y 50 metros. Se utilizó el rango inferior considerando que la carretera es una troncal secundaria y no una carretera principal, que justifica un derecho de vía de 50 metros.

8-2 Diseño de espesores de pavimento rígido y flexible para el proyecto Unikwas-Mulukuku.

Datos del proyecto

1 Para este proyecto se ha determinado un ancho de la calzada=7m y ancho de corona de 8.2m

2 Longitud del tramo del proyecto Unikwas-Mulukuku es de 3km

3 CBR de diseño

El método seleccionado para la determinación del CBR de diseño, fue el de las secciones homogéneas. Este método consiste generalmente en agrupar muestras con las mismas características.

Se realiza un estudio a lo largo del alineamiento de la vía con el fin de identificar la extensión y la condición de los diferentes tipos de suelos que se encuentren, esto se realiza mediante perforaciones como mínimo 50cm bajo el nivel de sub-rasante, en intervalos definidos de acuerdo con la variabilidad del terreno, la longitud y la importancia del proyecto.

A partir de las clasificaciones de los suelos de sub-rasante encontrados se elabora un perfil estratigráfico. Se determina la longitud en la cual predomina cada suelo y se delimitan áreas homogéneas de tipo longitudinal para efectos de diseño teniendo en cuenta el transito del proyecto.

Si en un tramo hay gran heterogeneidad en los suelos y no se puede definir uno como predominante, el diseño se basará en el más frecuente de los suelos débiles encontrados. Los ensayos de resistencia o de respuesta se deben— realizar sobre muestras representativas de los suelos predominantes, reproduciendo las condiciones de humedad y densidad que se espera prevalezcan en servicio.

Con el criterio de buscar la calidad de la obra se decidió trabajar con CBR en muestras saturadas con un porcentaje de compactación del 90% Con el criterio ingenieril de buscar la calidad de la obra se trabajara con CBR en muestras saturadas con un porcentaje de compactación del 90%.

En el Anexo 6, se muestra una tabla que propone la AASHTO-93 (Anexo j de esta guía), para el cálculo de CBR por medio de las secciones homogéneas.

Tabla 8.1 Valores de CBR obtenidos a lo largo del tramo de carretera en estudio

| N° | Ubicación | Valor del C.B.R. |
|-----------|-----------------------------------|-------------------------|
| 1 | De Est. 0+000 A Est. 1+000 | 3.67 |
| 2 | De Est. 1+000 A Est. 2+235 | 29.91 |
| 3 | De Est. 2+235 A Est. 2+625 | 62.06 |
| 4 | De Est. 2+625 A Est. 3+000 | 13.28 |

Fuente: Biblioteca MTI (Elaborado por EDICO).

Podemos ver que la sección que presenta los valores más críticos de CBR es la primera, siendo el valor de 3.67 que será el valor del CBR de diseño.

El método AASHTO-1993 sugiere que se utilice un valor de $MR=45\text{Kg/cm}^2$ para la superficie de rodamiento en el pavimento rígido.

8-2-1 Consideraciones para el diseño

En el diseño de pavimento rígido debemos considerar las siguientes variables de diseño: Período de Diseño, Ejes Equivalentes Esal's, nivel de Serviciabilidad, Confiabilidad, Desviación Estándar, Módulo Resiliente de la sub rasante, Módulo de elasticidad del Concreto, Módulo de ruptura de concreto a flexión

- Módulo de elasticidad de la capa de base
- Módulo de reacción de la Sub rasante, Módulo de Reacción K compuesto
- Módulo de Poisson, Coeficiente de Drenaje
- La temperatura

- **Periodo de diseño**

El periodo de diseño consiste en el periodo de vida en que se espera que la superficie de rodadura brinde condiciones estables y de comodidad a los usuarios en función del tránsito futuro, el periodo de diseño será de 20 años siguiendo las especificaciones del SIECA, ya que la carretera se ha clasificado como una troncal rural, mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 8.2 Periodos de diseño según la clasificación funcional

| Tipo de carretera | Periodo de diseño |
|-------------------------------|--------------------------|
| Auto pista Regional | 20 a 40 años |
| Troncales urbanas Sub | 15 a 30 años |
| Troncales rurales | 15 a 30 años |
| Colectoras urbanas sub | 10 a 20 años |
| Colectoras rurales | 10 a 20 años |

- **Calculo de ejes equivalentes (ESALS)**

El dato para el Esal's fue proporcionado y proviene de estudios de tránsito realizados por el MTI, el cual se cuantifica en tres millones (3,000, 000) de repeticiones.

- **Índice de serviciabilidad**

Serviciabilidad inicial. $P_o = 4.5$ para pavimentos rígidos. $P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles, en este diseño de pavimento rígido el valor que se determinó fue de 4.5.

Serviciabilidad final. $P_t = 2.5$ ó más para caminos principales. $D_{P_t} = 2.2$ para caminos de tránsito menor. Tomando en cuenta que esta carretera se está diseñando para un camino troncal secundaria el valor que se determinó fue de 2.5.

- **Índice de serviciabilidad presente**

El índice de Serviciabilidad de un pavimento, es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otra palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de Serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 (Perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de Serviciabilidad final que depende de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del proyectista, con un valor de 0 (Pésimas condiciones).

A la diferencia entre estos dos valores se le conoce como la pérdida de Serviciabilidad (PSI) o sea el índice de Serviciabilidad presente. Este valor se cuantifico en el valor de 2

Confiabilidad: La confiabilidad está definida como "la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación". Otra manera de entender la confiabilidad, por ejemplo es: si se considera una confiabilidad "R" del 80% estaríamos permitiendo que el 20% de la superficie de rodamiento alcance al final de su vida útil una Serviciabilidad igual a la Serviciabilidad final seleccionada en el diseño. En la Tabla siguiente se dan valores de *R* recomendados por AASHTO, y valores de *Zr*.

Tabla 8.3 Niveles de confiabilidad en función de la clasificación vial.

| Clasificación General | Niveles de confiabilidad R recomendados | |
|-----------------------|-----------------------------------------|-------|
| | Urbano | Rural |
| carreteras regionales | 80-99 | 75-95 |
| carreteras troncales | 80-95 | 75-95 |
| carreteras colectoras | 80-95 | 75-95 |
| carreteras locales | 50-80 | 50-80 |

Fuente: Tabla 1.5 Niveles de confiabilidad, Guía AASHTO 1993.

Tabla 8.4 Valores de Z_R en función de valores porcentuales de la confiabilidad.

| Confiabilidad (R) en % | Desviación Estándar normal Z_R |
|------------------------|----------------------------------|
| 50 | -0 |
| 60 | -0.253 |
| 70 | -0.524 |
| 75 | -0.674 |
| 80 | -0.841 |
| 85 | -1.037 |
| 90 | -1.282 |
| 99.99 | -3.75 |

El valor de este parámetro tomando en cuenta que es una carretera troncal se cuantificó en el valor de confiabilidad de 90% con lo cual el valor de z se cuantifica en 1.282.

- **Desviación estándar**

Tabla 8.5 valores para calcular la desviación estándar

| Condición de diseño | Desviación estándar S_0 | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------|
| | Pavimento Rígido | Pavimento Flexible |
| Variación en la predicción del Comportamiento de pavimento Sin errores en el tránsito | 0.34 | 0.44 |
| Variación en la predicción del comportamiento de pavimento con errores en el tránsito | 0.39 | 0.49 |
| Pavimentos Nuevos | 0.30 – 0.40 | 0.40 – 0.50 |

Fuente: Tabla 1.2 Guía AASHTO 1993

La desviación estándar la hemos tomado en el valor de 0.35 que es el valor intermedio que AASHTO recomienda para un pavimento nuevo.

- **Módulo Resiliente para sub-rasante**

El método AASHTO considera que la propiedad fundamental para caracterizar los materiales constitutivos de la sección de una carretera es el parámetro denominado módulo Resiliente.

El Módulo de Resiliencia de la Sub rasante se determina por la correlación con el California Bearing Ratio (C.B.R.).

En vista que el C.B.R. de diseño es de 3.67, el cálculo del valor del módulo de resiliencia de la capa de sub rasante será la siguiente:

Utilizando la condición de que si el CBR es menor que 7 utilizar un valor de $MR=1500 \cdot CBR$

$$MR = 1,500 \cdot 3.67 = 5,505 \text{ PSI}$$

- **Módulo de elasticidad del concreto**

El Módulo de elasticidad del concreto, se utiliza en las estimaciones de espesores de losa de concreto y su valor se determina tomando en cuenta las especificaciones del ACI 318, el cual da la siguiente ecuación:

$$E_c = (w_c)^{1.5} \cdot 0.043 \cdot (f'_c)^{0.5}$$

Donde:

f'_c = Resistencia especificada a la compresión del concreto en MPA

E_c = Módulo de elasticidad del concreto en MPA

w_c = Densidad del concreto en kg/m^3 .

$$E_c = (2500)^{1.5} \cdot 0.043 \cdot (27.5788)^{0.5} = 125,000 \cdot 5.25 \cdot 0.043 = 28,218.75 \text{ MPA}$$

Utilizando concreto de 280 kg/cm^2

$$E_c = 4,092,784 \text{ PSI}$$

Módulo de ruptura del concreto a flexión: En base a la experiencia en Nicaragua, se ha usado como máximo un módulo de ruptura de 45 Kg/cm^2 , en carreteras de gran importancia construidas y en proceso de construcción. Para este proyecto se tomara para el diseño de la losa de concreto de la carretera Unikwas – Mulukuku, el módulo de ruptura de 650 psi equivalente aproximadamente a 45 kg/cm^2 .

Módulo de elasticidad de la capa base: El coeficiente estructural de la capa de base tratada con cemento tomando el espesor de veinte centímetros, se cuantificó de 800,000 psi.

| Tipo de base o interfaz de tratamiento | Módulo de Elasticidad (Psi) | Rangos de coeficientes de Fricción | | |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------|------|
| | | Bajo | Medio | Alto |
| Suelo bien granulado | 3000-40000 | 0.5 | 1.3 | 2 |
| Arena | 10000-25000 | 0.5 | 0.8 | 1 |
| Agregado | 15000-45000 | 0.7 | 1.4 | 2 |
| Capa de polietileno | NA | 0.5 | 0.6 | 1 |
| Arcilla estabilizada con cal | 20000-70000 | 3 | NA | 5.3 |
| Grava tratada con cemento | (500+CS)*1000 | 8 | 34 | 63 |
| Grava tratada con asfalto | 300000-600000 | 3.7 | 5.8 | 10 |
| Uso de concreto sin componente de curado | (500+CS)*1000 | >36 | | |
| Uso de concreto con uno o doble capas componente de curado | (500+CS)*1000 | 3.5 | | 4.5 |

Fuente: (Norbert Delatte., 2008)

Tabla 8.6 Módulo de elasticidad y coeficiente de fracción por tipo de base.

- **Módulo de reacción de la sub-rasante**

El Módulo de reacción de la sub rasante o en algunos casos conocida como sub base en los pavimentos rígidos (valor k) es definido como aquel parámetro medido o estimado en la parte superior de la capa de terracería terminada o terraplén sobre el cual la capa base y/o losa de concreto serán construida. Utilizando la gráfica siguiente, determinamos el módulo de reacción de la sub rasante en la cual ubicando el valor de C.B.R. de 3.67 obtenemos que K tiene un valor de 90.

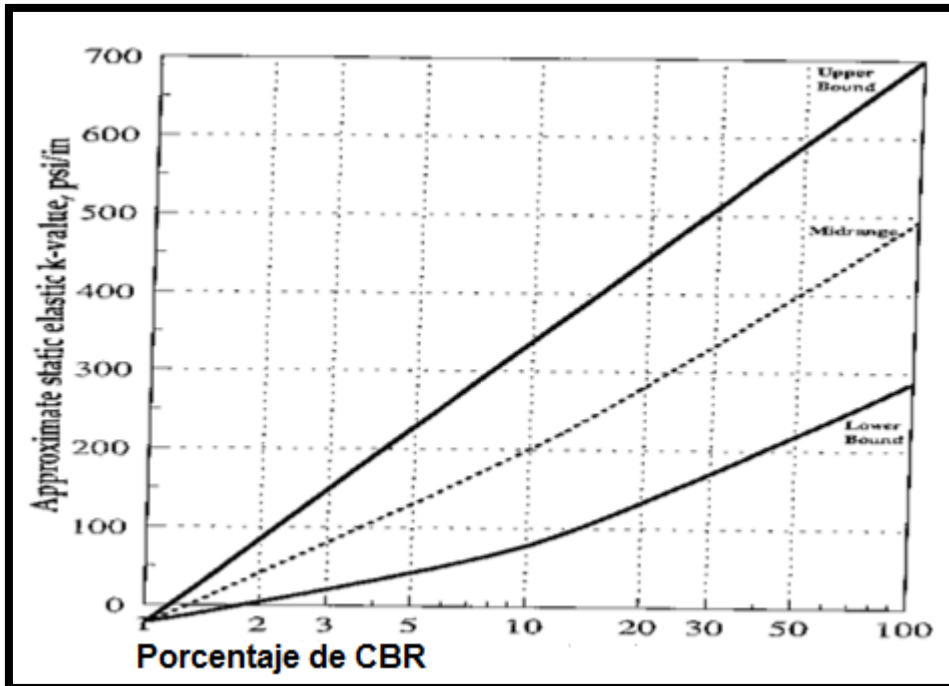


Figura 8.5 Módulo de reacción k combinado (valor seasonal).

Fuente: (Ing. Gustavo Corredor, Apuntes de Pavimentos Volumen I, 2004).

Para seleccionar el valor de k la AASHTO a propuesto las siguientes situaciones.

- 1 Que el material de relleno esté colocado en la parte superior de la capa de sub rasante.
- 2 Que una capa rígida esté presente a una profundidad de 10 pies equivalente a 3.0 metros o menos de la parte inferior de la capa de sub rasante existente.

Analizando el comportamiento del valor de K SEASONAL con el gráfico de sensibilidad que suministra el AASHTO 98. Se observa que en el diseño para un valor de ESAL's de tres millones, el rango de K para un espesor mayor de 7 pulgadas está entre 90 y 170.

- **Módulo de Poisson para concreto**

Este parámetro se determina normalmente de acuerdo a la norma ASTM C-469 durante una prueba de compresión de un cilindro estándar. Los valores del módulo o relación de Poisson varían entre 0.15 y 0.20. La Razón de Poisson para el hormigón en características normales del tramo en estudio es **0.15**.

- **Coeficientes de drenaje**

Se estudian estos valores con el método de AASHTO y son los coeficientes de capa, los cuales se ajustan con factores mayores ó menores que la unidad para tomar en cuenta el drenaje y el tiempo en que las capas granulares están sometidas a niveles de humedad cerca de la saturación. El coeficiente de drenaje que se utilizara es de 1

Variables climáticas

Las variables climáticas son parámetros que influyen en el comportamiento estructural de los pavimentos de concreto hidráulico. Los parámetros que utiliza el diseño AASHTO son: la temperatura media anual, la precipitación media anual y la velocidad del viento media anual.

Los valores de estas variables a utilizar, fueron obtenidos de información suministrada por el Instituto Nicaragüense de estudios territoriales (INETER) las cuales son las siguientes:

- Temperatura media anual 79.97°F
- La precipitación media anual 8.81 pulgadas
- La velocidad del viento promedio anual 8.94 Millas/hora

La temperatura varía entre la parte superior y la parte inferior de la losa, produciendo estos cambios retracciones diferenciales entre las dos caras de la losa. Este gradiente se expresa como gradiente térmico, del cual no existe mucha información ni estudios en Nicaragua con respecto a este valor, ya que varía dependiendo de la época del año y el clima de la zona, por ello se recomienda utilizar el criterio de -10°F y 10°F.

Tabla 8.7 Datos para el diseño de espesores del pavimento rígido

| Datos de diseño del pavimento rígido con CBR=3.67% De la sub-rasante | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|
| Índice de confiabilidad | 90 | Esp. AASHTO 80-99.9 |
| Índice de servicio inicial | P0=4.5 | 4.2-4.5 |
| Índice de servicio final | Pt=2.5 | 2-2.5 |
| Índice de servicio de diseño | 2 | P0-pt |
| Coefficiente de drenaje | 1 | 1 |
| Desviación estándar so | 0.35 | 0.3-0.4 |
| Desviación estándar normal zr | -1.282 | |
| Numero de ejes equivalentes | 3000000 ESALS | |
| CBR de diseño | 3.67 | |
| Módulo resiliente | 5505 | |
| Periodo de diseño años | 20 | |
| Módulo de elasticidad del concreto | 4092784psi | |
| Módulo de ruptura del concreto a flexión | 650psi | |
| Módulo de reacción efectivo de sub-rasante | 140psi | |
| Módulo de elasticidad de base granular | 30000 | |
| CBR de base granular | 100/ | |
| Módulo de elasticidad de base estabilizada | 800000psi | |
| Velocidad media anual del viento | 8.94mph | |
| Temperatura media anual del aire | 80°F | |
| Precipitación media anual | 8.81pulg | |
| Espaciamiento de juntas | 5.9ft | |

8-2-2 Calculo de los Espesores de la estructura de pavimento rígido.

$$\log_{10} W_{18klb} = Z_R \cdot S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{(1.624 \times 10^7)}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) * \log_{10} \left(\frac{S'_c * C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 * J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_C}{k} \right)^{0.25}} \right)} \right)$$

$$\text{Log}_{10}(3000000) = (-1.282)(0.35) + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log[2/3]}{1 + [(1.62 \times 10^{\exp 7}) / (D + 1)^{8.46}]} +$$

$$(4.22 - (0.32)(2.5)) * \log \frac{(650 \text{ psi})(1)(D^{0.75} - 1.132)}{(215.63)(3.1) \left[D^{0.75} - \left(\frac{18.42}{\left[\frac{4092784}{140} \right]^{0.25}} \right) \right]}$$

Equilibrando la ecuación proponiendo valores para D encontramos el valor del espesor de la losa de concreto.

D=6.43 pulgadas= 16.33cm, asumiremos la losa de 18cm de espesor

8-2-3 Diseño de alternativas para el pavimento rígido

- **Pavimento rígido con Base granular**

Según las indicaciones por la guía de la AASHTO El espesor mínimo sugerido para la capa base está en función del número de ESALS, indicando que para ESAL's de 2000000 a 7000000 es espesor mínimo debe ser 15cm, en esta propuesta colocaremos una capa de 20cm constituida de agregados triturados con CBR=100% excelente.

Alternativa 2 – Pavimento Rígido con Base Granular Estabilizada con Cemento.

Base granular estabilizada con un 7% del peso del material con cemento portland con espesor de 20cm según especificación AASHTO sugerido de acuerdo al número de repeticiones al final del periodo de diseño.

Siguiendo las recomendaciones anteriores, CBR=100%

Resistencia a la compresión a los 7 días=300 psi

Módulo de elasticidad de la capa base estabilizada=800000psi

CS = Resistencia a la compresión (psi) a 7 días de edad 300psi.

$$(500 + CS) * 1000$$

$$(500 + 300) * 1000$$

$$(800) * 1000$$

$$MR = 800,000 \text{ PSI}$$

Tabla 8.8 Composición de la estructura de pavimento rígido

| Capa | Espesor |
|----------------------------------------|---------|
| Losa de concreto (carpeta de rodadura) | 18cm |
| Base granular | 25cm |
| Base granular estabilizada | 20cm |

Alternativa 1 Pavimento rígido con base granular sin tratar

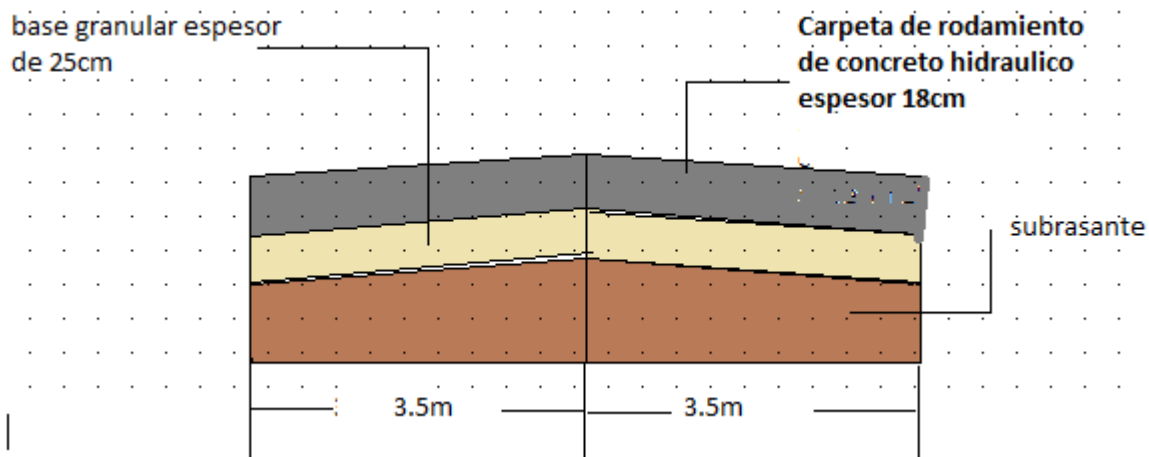


Figura 8.6 estructura de pavimento rígido con base granular sin tratar.

Alternativa 2 base granular tratada con cemento portland.

Tabla 8.9 Composición de la estructura con base granular estabilizada con cemento portland

| Concepto | Espesor En Pulgadas | Espesor En Centímetros |
|----------------------------------------------|---------------------|------------------------|
| Losa de concreto | 7.11 | 18 |
| Base Granular tratada con cemento hidráulico | 8.00 | 20 |
| TOTAL | 15.11 | 38 |

Alternativa 2 Capa base granular estabilizada con cemento portland

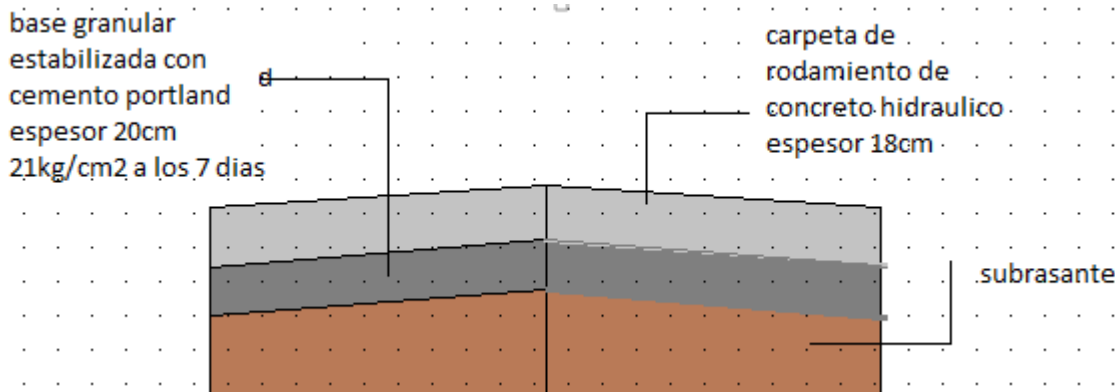
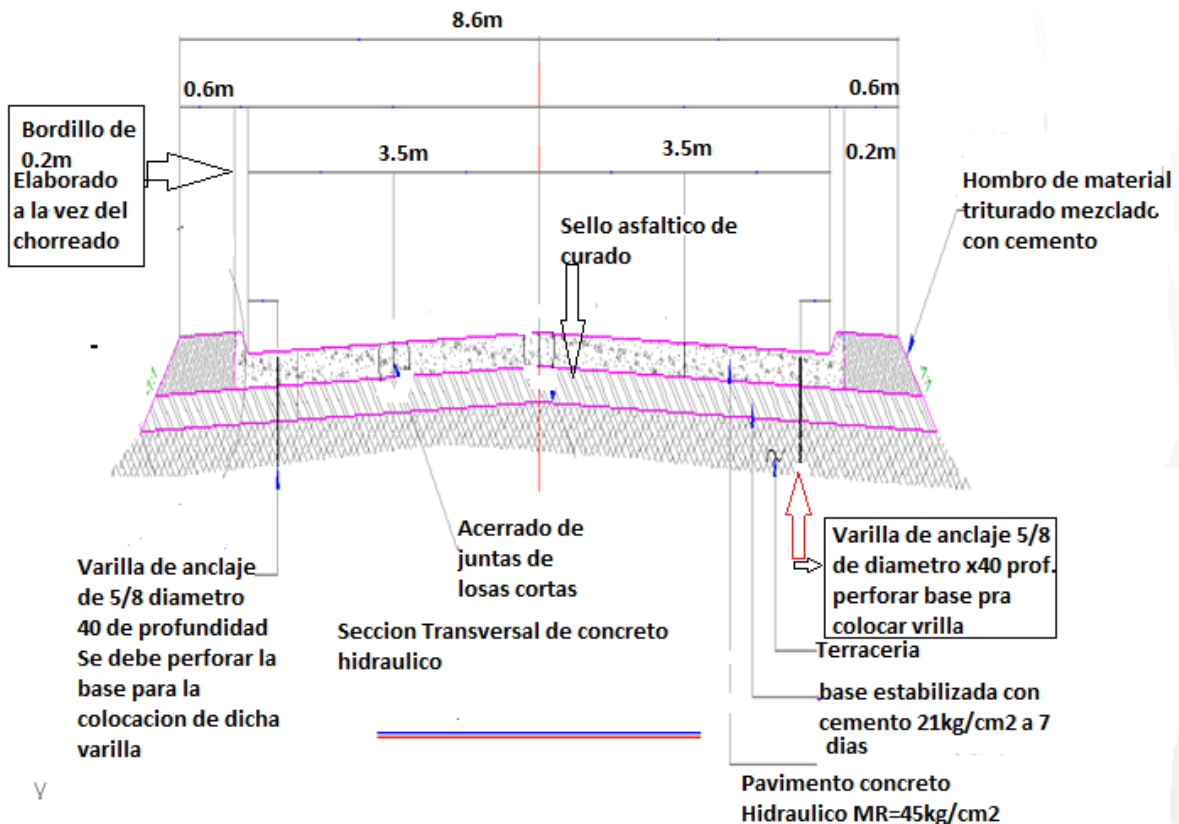


Figura 8.7 Estructura de pavimento rígido con base granular estabilizada con cemento portland

Figura 8.8 Sección transversal para la carretera Unikwas-Mulukuku



Evaluación de los parámetros de diseño.

Relación de esbeltez

La relación de esbeltez es la relación que existe entre el largo y ancho de una losa siendo una de las relaciones que influyen en la modulación de las losas. Las especificaciones de esta relación indican un rango en el cual se pueden mantener.

Estos rangos son los siguientes:

$$0.7 < \text{Relación de esbeltez} < 1.4$$

0.8 < Relación de esbeltez < 1.2 Usada de manera general en Nicaragua.

La relación de esbeltez de las losas propuestas es la siguiente:

Losa Urbana

El espacio entre juntas será de 1.8m longitudinal y ancho 1.6m.

Ancho para losa rural 1.75m

$$1.60/1.80 = 0.88 \text{ está dentro del rango.}$$

$$1.80/1.60 = 1.16 \text{ está dentro del rango}$$

Losa Rural.

$$1.80/1.75 = 1.03 \text{ está dentro del rango.}$$

$$1.75/1.80 = 0.97 \text{ está dentro del rango}$$

Separación de juntas transversales

La separación de las juntas es otro de los parámetros que influyen en la modulación de las losas y está determinado principalmente por el espesor de la losa ya que uno de los objetivos es de conducir a los cortes que por efectos de temperatura se dan en los lugares de las juntas en donde existe una sección rebajada. El espaciamiento viene especificado con la siguiente ecuación:

$$S_{JT} = 21 D \text{ cuando exista base estabilizada en contacto con la losa}$$

$$S_{JT} = 24 D \text{ cuando exista sub-base triturada en contacto con la losa.}$$

S_{JT} = Separación de juntas transversales en cms.

D = Espesor de la losa en cms.

$$S_{JT} = 21 D \quad 21 \times 18 = 3.78 \text{ m que es mayor que } 1.80$$

Modulación de losas

Esta actividad se realizó tomando en cuenta de manera principal la relación de esbeltez, la separación de juntas transversales, la sección típica de la carretera, y las dimensiones físicas del vehículo de diseño.

El número de losas contadas transversalmente a la circulación de los vehículos son cuatro tanto en la zona rural y urbana, las cuales están distribuidas de la manera siguiente: en la parte interior se tienen dos losas con dimensiones de 1.80x1.675 m en la zona rural, y de 1.80x1.525 m en la zona urbana

El tamaño de las losas medidas en eje paralelo a la circulación de los vehículos es de 1.80 metros.

Figura 8.9 Planta típica de pavimento de concreto de losas cortas en zona rural

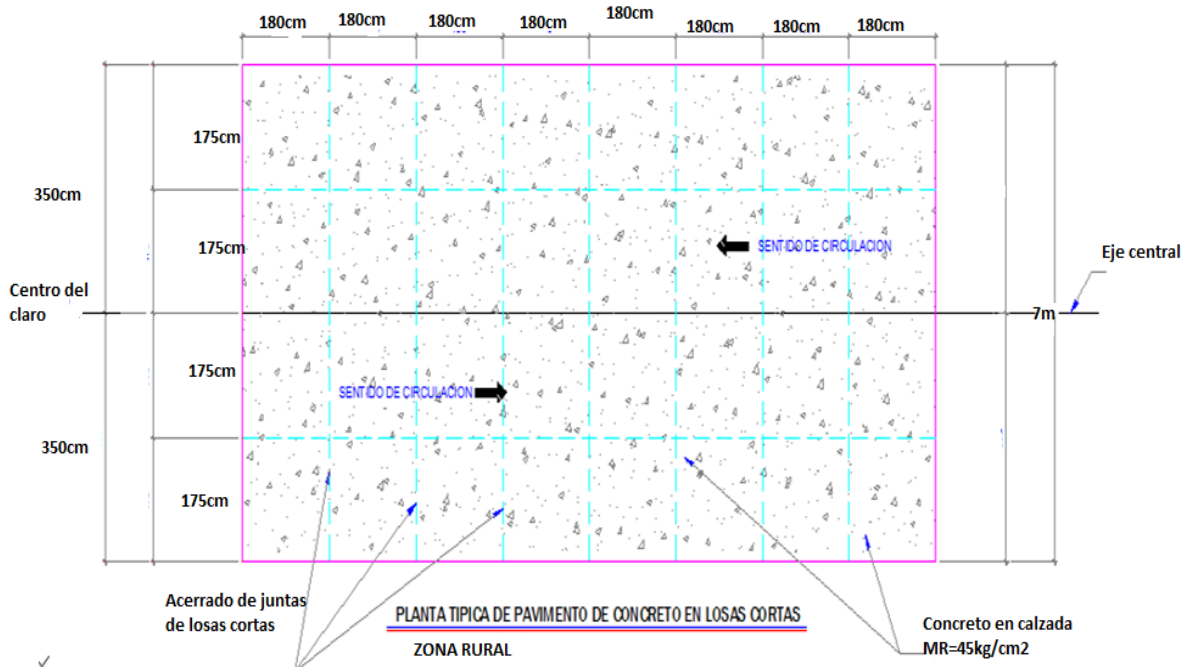
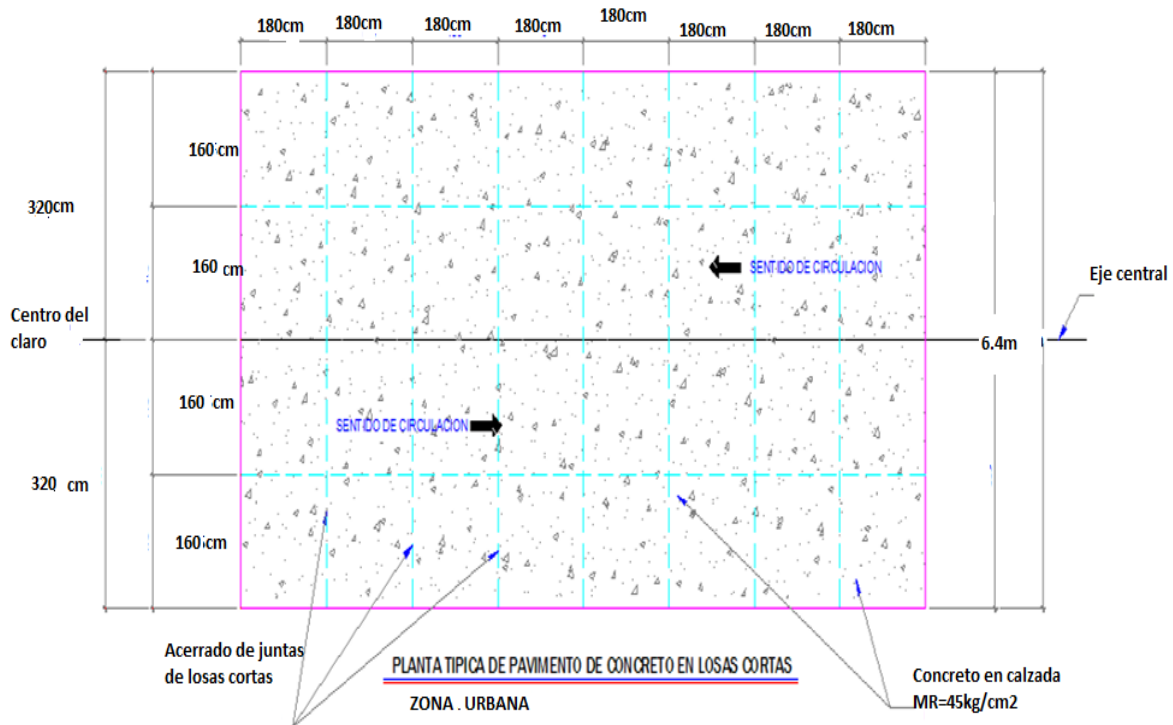


Figura 8.10 Planta típica de pavimento de concreto de losas cortas en zona urbana.



Fuente: Elaboración Propia

8-3 Diseño de la estructura de pavimento flexible utilizando la guía de la AASHTO 1993.

El método de Diseño a utilizar será la Guía de Diseño de Espesores de pavimento de la AASHTO 1993.

8-3-1 Consideraciones para el diseño

Este método de diseño es aplicable para vías con tránsito superior a 0.05×10^6 ejes equivalentes de 8.2 toneladas y la ecuación utilizada para el diseño de pavimento flexible, derivada de la información obtenida empíricamente por la AASHTO ROAD TEST para determinar el número estructural propone la siguiente ecuación:

$$SN = a_1D_1 + a_2m_2D_2 + a_3m_3D_3$$

Donde

a_i = Coeficiente estructural de la capa i , el cual depende de la característica del material con que ella se construya.

d_i = Espesor de la capa i en pulgadas.

m_i = Coeficiente de drenaje de la capa i .

El SN es un número abstracto, que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación dada de soporte del suelo (MR), del tránsito total (W18), de la servicialidad terminal, y de las condiciones ambientales.

- **Determinación del número estructural**

La ecuación de diseño recomendada por la AASHTO permite la obtención del número estructural, a partir de los siguientes parámetros:

- 1 Tránsito estimada durante el período de diseño (W18)
- 2 El nivel de confiabilidad (R). Debe recordarse que la aplicación de este nivel implica la utilización de promedios en los datos de entrada.
- 3 La desviación estándar (So).
- 4 El módulo resiliente de la sub-rasante (MR)

La pérdida de nivel de servicio durante el período de diseño, $\Delta PSI = P_o - P_t$

Ecuación de diseño

La Ecuación de Diseño para Pavimentos Flexibles corresponde a la Ecuación (1.2.1) descrita en la página I-5, Parte I, de la Guía ASSHTO-93 para el Diseño de Pavimentos y toma la configuración siguiente:

Ecuación para determinar el espesor de pavimento flexible.

$$\log_{10} W_{t18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

En donde:

Wt18 - Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 kN acumuladas en el periodo de diseño (**n**). en este caso equivalente a 3000000 de repeticiones.

ZR - Valor del desviador en una curva de distribución normal, función de la Confiabilidad del diseño (R) o grado confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.

so - desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio. Este valor se tomara de 0.45 según el manual de la AASHTO.

Δ **PSI** - Pérdida de Servicialidad (Condición de Servicio) prevista en el diseño, y medida Como la diferencia entre la calidad de condición de servicio del pavimento al concluirse su construcción (Servicialidad Inicial (**po**) y su condición de servicio al final del periodo de diseño (Condición de Servicio Final (**pt**)).

Para pavimento flexible el valor de serviciabilidad inicial es de 4.2 y el valor de serviciabilidad final es de 2 por lo tanto Δ **PSI=2.2**

Datos de diseño

Se obtuvo el número equivalente de esales a través de los conteos realizados anualmente por el MTI el cual se cuantifica en 3 millones 3000000 para un Periodo de Diseño de 20 años,

a) Se determinó el CBR de Diseño en base a los ensayos realizados en el Estudio de Suelos obteniéndose un valor de:

$$\text{CBR} = 3.67 \%$$

Se considerara un Índice o valor de Confiabilidad de $R = 90 \%$

- Módulo resiliente para sub-rasante

El método AASHTO considera que la propiedad fundamental para caracterizar los materiales constitutivos de la sección de una carretera es el parámetro denominado módulo Resiliente.

El Módulo de Resiliencia de la Sub rasante se determina por la correlación con el California Bearing Ratio (C.B.R.).

En vista que el C.B.R. de diseño es de 3.67, el cálculo del valor del módulo de rescilencia de la capa de sub rasante será la siguiente:

Utilizando la condición de que si el CBR es menor que 7 utilizar un valor de $MR=1500 \cdot CBR$

$$MR = 1,500 \cdot 3.67 = 5,505\text{psi}$$

Con las consideraciones anteriores se puede calcular el número estructural de la estructura de pavimento.

$$SN = a_1D_1 + a_2m_2D_2 + a_3m_3D_3$$

La excavación se realizara a una profundidad de 0.75m por lo que se sustituirá por material de base granular con coeficiente de capa igual a, $a_2=0.14$ tabla 7.5 SIECA

La capa base se construirá con un espesor de 20cm al igual que la capa de sub-base con coeficiente de capa $a_3=0.12$ figura 7.7 SIECA y un mejoramiento con material selecto de 25cm con coeficiente de capa $a_4=0.1$ figura 7.7 SIECA por lo que se calcula el numero estructural proponiendo un espesor de asfalto de 10cm la carpeta asfáltica tendrá un coeficiente $a_1=0.41$, el coeficiente de drenaje se estimara en 1 en el caso de base y sub-base con calidad de drenaje bueno. De acuerdo a la siguiente tabla tomado como bueno con valor de 1.2

Tabla 8.10 Selección de la calidad del drenaje

| Calidad de Drenaje | Porcentaje de tiempo que la estructura será expuesta a humedad Que se aproxime a la saturación | | | |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------|
| | <1% | 1-5% | 5-25% | >25% |
| Excelente | 1.25 - 1.2 | 1.2 – 1.15 | 1.15 – 1.1 | 1.1 |
| Bueno | 1.2 - 1.15 | 1.15 – 1.1 | 1.1 – 1 | 1 |
| Regular | 1.15 - 1.1 | 1.1 – 1 | 1 – 0.9 | 0.9 |
| Pobre | 1.1 – 1 | 1 – 0.9 | 0.9 – 0.8 | 0.8 |
| Muy pobre | 1 - 0.9 | 0.9 – 0.8 | 0.8 – 0.7 | 0.7 |

$$SN = a_1D_1 + a_2m_2D_2 + a_3m_3D_3$$

Según la guía de la AASHTO los espesores requeridos para la capa de rodadura en función del tránsito, sugeridos en la tabla que se muestra, en este caso para el proyecto en estudio se contabilizaron 3000000 de esales por lo que tomaremos un espesor de 10cm según el criterio que para esales de 2000000 – 7000000 el espesor es 9 y para base granular 15cm este valor lo tomaremos como 20cm

Tabla 8.11 Espesores mínimos sugeridos para la superficie de rodamiento en función del tránsito.

| Espesores Mínimos Sugeridos | | |
|------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| Numero de ESAL's | Capas Asfálticas | Base Granular |
| Menos de 50000 | 3 cm | 10 cm |
| 50000 – 150000 | 5 cm | 10 cm |
| 150000 – 500000 | 6.5 cm | 10 cm |
| 500000 – 2000000 | 7.5 cm | 15 cm |
| 2000000 – 7000000 | 9 cm | 15 cm |
| Más de 7000000 | 10 cm | 15cm |

8-3-2 Diseño el espesor total de la estructura de pavimento flexible por medio del Cálculo del nuero estructural

$$\log_{10} W_{f18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

De acuerdo a los criterios establecidos por la AASHTO se determinaron los siguientes valores:

Zr=-1.282, el módulo resiliente de sub-rasante a partir del CBR es MR=5505

Δ PSI=2.2

S0=0.45

#ESALES=3000000

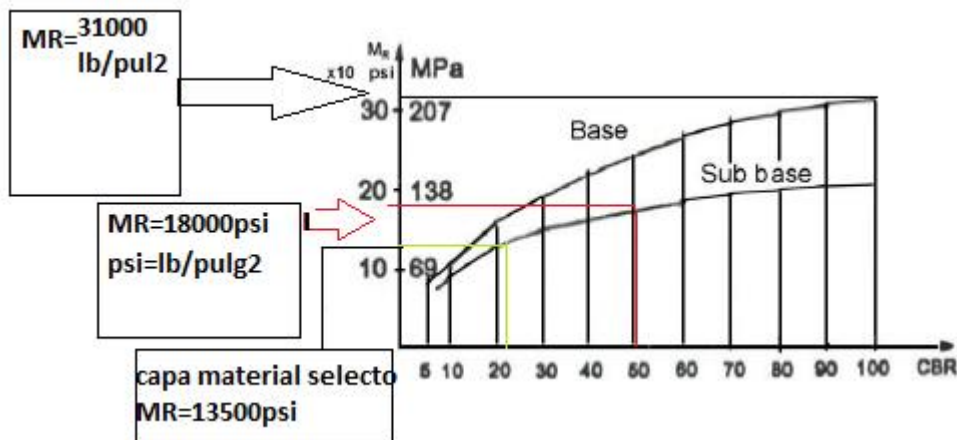
$$\text{LOG3000000} = (-1.282)(0.45) + (9.36)(\text{LogSN}+1) - 0.2 + \left(\frac{\log[2.2/2.7]}{[0.4 + (1094/(SN+1)^{5.19})]} \right) + (2.32 \log(5505)) - 8.07$$

Mediante el equilibrio de la ecuación se obtiene el número estructural.

SNSN=4.33pulg

Que también se puede obtener a partir del nomograma mostrado en el anexo 5-5 de este documento.

Figura 8-11 Cálculo del MR a partir del CBR de cada capa



Fuente: (Ing. Gustavo Corredor, Apuntes de Pavimentos Volumen I, 2004).

Tabla 8.12 Datos para el diseño de la estructura de pavimento flexible

| Datos de Diseño | Valor | AASHTO 1993 |
|-------------------------------------------|-------|-------------|
| Índice de Confianza | 90 | 75 - 95 |
| Índice de Servicio Inicial | 4.2 | 4.2 - 4.4 |
| Índice de Servicio Final | 2.2 | |
| Índice de Servicio de Diseño | 2 | |
| Desviación Estándar | 0.45 | 0.45 |
| CBR de Diseño (%) | 3.67 | |
| Módulo de Resiliencia (psi) = CBR*1500psi | 5505 | |
| Periodo de Diseño (Años) | 20 | |
| Numero Estructural (SN) | 4.33 | |

Fuente: Elaboración Propia.

La primer alternativa será colocar una base granular sin tratar.

De acuerdo a los criterios expuestos anteriormente

De la capa base granular con CBR=100%

MR=31000lb/pul²

Correlación de CBR y MR

Para CBR iguales o menores a 7.2%

MR = 1.500 * CBR

a) Para CBR mayores a 7.2% e iguales o menores a 20%

MR = 3.000 * CBR^{0.65} (psi)

(b) Para CBR mayores a 20%, **MR = 4.326 * ln CBR +241 (psi)**

Tabla 8.13 Valor del módulo de elasticidad en función del CBR

| Valor del módulo de elasticidad en función del CBR | | |
|-----------------------------------------------------------|------|----------------------------------------|
| Capa | CBR% | Módulo resiliente lb/pulg ² |
| Mezcla asfáltica en caliente | | 400000 |
| Base granular triturada | 100 | 31000 |
| Sub-base | 50 | 18000 |
| Mejoramiento material selecto | 23 | 13500 |
| Sub-rasante | 3.67 | 5505 |

Fuente: Elaboración Propia.

También se puede determinar el módulo de resiliencia en función del CBR, utilizando el nomograma mostrado en el anexo 5-2, de este documento.

Coefficientes de capa

Concreto asfáltico según el nomograma para 400000psi, a1=0.42 espesor 10cm

De acuerdo al nomograma, para módulo resiliente de31000 psi, de la Base granular a2=0.14

Para la capa de Sub-base con CBR=50%, a3=0.13

Material selecto a4=0.1

Coefficiente de drenaje 1 para toda la estructura m=1

Con los datos iniciales obtuvimos el numero estructural SN=1.7845

Aplicando la siguiente ecuación determinaremos la relación del número estructural de diseño para cada espesor de la estructura de pavimento propuesta

$$SN = a_1D_1 + a_2m_2D_2 + a_3m_3D_3$$

Siguiendo los requisitos siguientes

$$D > SN_1 / a_1 \text{ (valor mínimo requerido para la capa asfáltica) (Ecuación 1).}$$

$$D_1^* \geq SN_1 / a_1 \text{ (valor real que debe ser usado)}$$

$$SN_1^* = a_1 \times D_1^* \geq SN_1$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

- a, D, m, y SN están definidos en el texto y son los valores mínimos requeridos.
- El Asterisco “ * ” en D ó SN indica y representa el valor actualmente usado, que debe ser igual ó mayor al valor requerido.

Se adopta un espesor D_1^* ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa es: $SN_1^* = a_1 \times D_1^*$

Alternativa 1. Pavimento flexible con base granular sin tratar.

Calculo de carpeta

Capa asfáltica

$$SN=4.33\text{pulgadas}$$

$$SN=(0.42)(10/2.54)=1.654\text{pulg}$$

Según La propuesta de la AASHTO-93 el espesor en función del tráfico es 10cm.

Calculo del SN corregido de la capa de rodadura sobre la base granular

$$SN=(0.42)(10)/2.54=1.654$$

Capa base

Espesor

$$SN=a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2$$

$$4.33=1.654 + (0.14) (D_2) (1)$$

$D_2=19.114\text{pulg}=48\text{cm}$ el espesor mínimo debe ser 15cm pero se usara mejoramiento para disminuir el espesor de la base, por tanto se usara una base granular de 20cm.

SN corregido= $1.654 + (0.14)(20)/2.54= 2.756$ pulg.

Calculo de sub-base

$SN=a_1xD_1+ a_2xD_2m_2+a_3D_3m_3$

$4.33=2.756+ (0.13) (D_3)$

$D_3=12.11\text{pulg}=30\text{cm}$, debido al costo del material proponemos un espesor de 20cm, debido a que se colocara capa de mejoramiento con material de menor calidad y de esta manera disminuir los costos iniciales.

SN corregido sobre la capa de mejoramiento

$SN=2.756+ (20) (0.13)/2.54=3.78\text{pulg}$

Calculo del espesor del mejoramiento

$4.33=3.78 + (0.1) (D_4)$

$D_4=5.5\text{pulg} =14\text{cm}$, proponemos usar 15cm como capa de mejoramiento

Número estructural corregido sobre la capa de sub-rasante

$SN=3.78 + (0.1) (15)=4.371\text{pulg}$ mayor que 4.33pulg.

Alternativa de diseño 1. Pavimento flexible con base granular

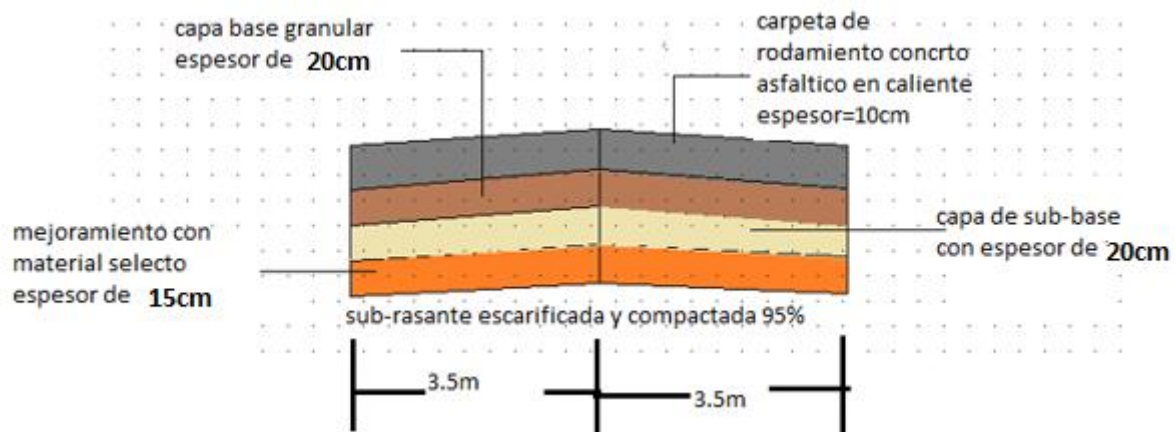


Figura 8.12 Estructura de pavimento flexible con base granular

Fuente: Elaboración Propia.

Alternativa de diseño 2. Pavimento flexible con base granular estabilizada

Base estabilizada con cemento portland

Bases estabilizadas: La Tabla 5.2 (Pag.III-105 Guía AASHTO 1993) muestra el coeficiente a_2 de una base de suelo cemento, que puede ser empleado en el cálculo de la estructura de pavimento (0.15 a 0.20) en este caso se puede tomar el promedio $a_2=0.175$

Numero estructural $SN=4.33$ pulgadas

Numero estructural de capa asfáltica sobre capa base

$$SN=0.42 \times 10 / 2.54 = 1.654$$

Coeficiente de capa $=0.18$

Calculo del espesor de base requerida

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2$$

$$D_2 = (4.33 - (0.42)(10/2.54)) / 0.18$$

$D_2 = 14.87$ pulg $= 37.8$ cm, como se colocara una capa de sub-base proponemos un espesor para la base estabilizada de 25cm

$$SN = (0.42)(10/2.54 + (0.18)(25/2.54)) = 3.43 \text{ pulg}$$

Diseño de sub-base

Coeficiente de capa $=0.13$

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$D_3 = (4.33 - 3.43) / 0.13$$

$D_3 = 6.923$ pul $= 17.584$ cm, proponemos usar 18cm para la capa de sub-base

$$SN = 3.43 + (18/2.54)(0.13) = 4.35 \text{ pulgadas mayor que } 4.33 \text{ cumple}$$

Alternativa 2 Pavimento flexible con base granular estabilizada.

La estructura quedaría conformada de la siguiente manera

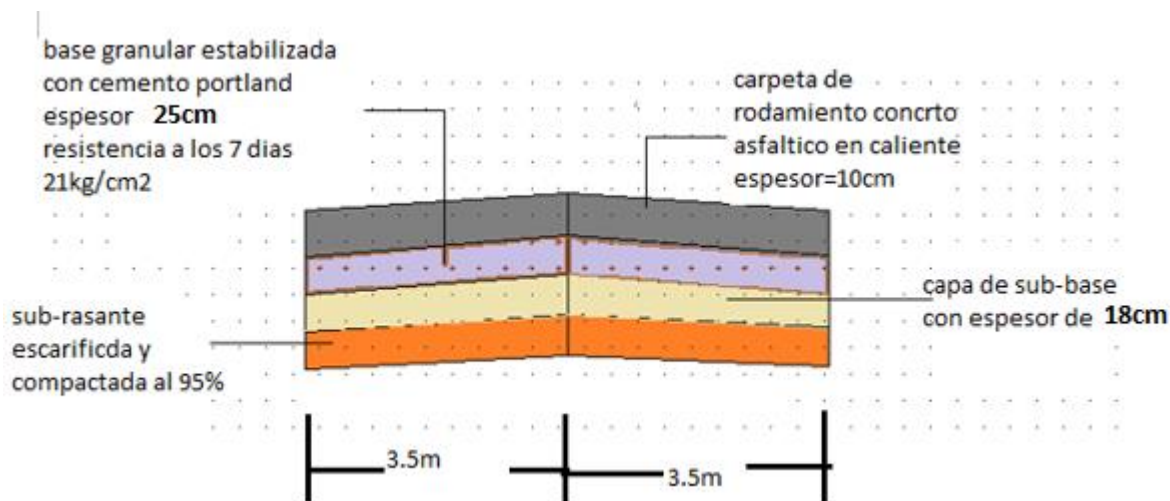


Figura 8.13 Estructura de pavimento flexible utilizando base granular estabilizada con cemento portland.

Fuente: Elaboración Propia.

Capítulo IX. Mantenimientos

9. Mantenimientos requeridos por los pavimentos rígido y flexible.

9-1 Mantenimientos requeridos por el pavimento flexible

Se describe como el conjunto de actividades que se ejecutan con el objeto de mantener la misma forma estructural satisfactoria y en condiciones de operación similares a las previstas en el proyecto y asegurar a los usuarios una operación cómoda y segura. El mantenimiento no solo debe preservar la carretera sino también debe prevenir su deterioro y no debería ser tomado como una acción temporaria sino como una inversión necesaria y continúa para prevenir reparaciones costosas y asegurar la obtención de los beneficios anticipados en la planificación vial.

Las operaciones de mantenimiento requeridas a lo largo de la vida del pavimento están en función de las fallas que se generan en la superficie de rodadura por efecto del tránsito y las condiciones climáticas, según la demanda del pavimento se requiere dar mantenimientos a lo largo de su vida útil o cada que este lo requiera estos mantenimientos pueden clasificarse como rutinarios o periódicos.

Es necesario describir y conocer las principales debilidades de la estructura de pavimento que se adopte al momento de construir una nueva carretera ya que cada material es susceptible a las condiciones del medio de acuerdo a sus propiedades componentes por esta razón describiremos los principales aspectos que se deben considerar en los trabajos de Mantenimiento recordemos que un pavimento puede resultar factible y económico a corto plazo pero los daños y fallas ocurridos en la estructura pueden volverlo el más caro a largo plazo.

9-1-1 Mantenimiento rutinario

Este tipo de mantenimiento se refiere a la limpieza del derecho de vía, limpieza de alcantarilla, limpieza de cunetas, bacheo superficial, mantenimiento de señalización horizontal y vertical, en el caso de vías asfaltadas se ejecuta anualmente.

Limpieza del derecho de vía: por lo general esta actividad se realiza 2 veces al año, esta actividad consiste en limpiar la maleza de la zona de la carretera.

Limpieza y rectificación de cunetas: esta actividad consiste en el perfilado de cunetas en corte esta actividad se realiza 2 veces al año.

Limpieza de alcantarillas: consiste en desalojar el sedimento arrastrado y limpiar la zona de entrada y salida de la alcantarilla recomendable 2 veces al año.

Limpieza de cajas puente: esta actividad es recomendable realizarla 2 veces al año consiste en limpiar el sedimento arrastrado.

Postes guías: se recomienda 1 poste cada 7 km por año.

Señales verticales: 1 señal cada 3 km por año.

9-1-2 Principales fallas del pavimento flexible.

Las fallas más comúnmente ocurridas en la superficie del pavimento son: agrietamiento por fatiga, ahuellamiento, esfuerzos por tensión y corte.

Agrietamiento por fatiga: deformación por tracción en la mezcla asfáltica.

Ahuellamiento: el ahuellamiento es una depresión en la superficie bajo las huellas de los neumáticos. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento esta falla sucede por un exceso de carga o compresión en la sub-rasante o en la mezcla asfáltica.

Profundidad media del ahuellamiento:

Grietas de baja severidad. Es aquella con profundidades de 6.0 a 13.0 mm.

Las grietas de severidad media son aquellas con profundidad de 13.0 mm a 25.0 mm. Y las grietas de severidad alta son aquellas con profundidades mayores a 25mm.

Esfuerzos por tensión y corte: los esfuerzos producidos al paso de los vehículos y las condiciones climáticas contribuyen a producir agrietamiento en la superficie iniciando pequeñas microfisuras que se van interconectando y creciendo a grietas ya visibles con el paso continuo de cargas.

Falla tipo piel de cocodrilo: Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda.

Esta falla se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento o hundimiento de la superficie de rodadura.

Inicialmente se presentan longitudinalmente, después de repetidas cargas, luego estas se conectan formando polígonos el tamaño de estas fallas puede ser hasta de 0.6m.

Según el nivel de daño, se pueden clasificar en mínimas, medias y altas, las grietas de nivel mínimo de daño corresponde a grietas que aún no están descascaradas sino que son finas y longitudinales, esta falla aparece a partir de los 2 o 3 primeros años de construcción.

Figura 9-1 - Grietas o piel de cocodrilo en el pavimento flexible.



Fuente: (Selección de tratamientos y estrategias de Rehabilitación de los pavimentos Rígidos y Flexibles, 2005).

Mancha en el pavimento

La mancha ocurre en el pavimento por exudación es decir por un exceso de asfalto en la mezcla o bajo contenido de vacíos de aire en medio de altas temperaturas ambientales o por deposición de aceites caído de los vehículos, debido a que el proceso de exudación no es reversible este aceite se acumula en la superficie originando la mancha.

Grietas de contracción: Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0 m. las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Estas fallas se pueden resolver aplicando un sellado en las grietas con ancho mayor de 3m.

Grietas longitudinales y transversales

Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de construcción y pueden ser causadas por:

- una junta de canal del pavimento pobremente construida.
- contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al envejecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.

Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento portland, pero no las juntas de pavimento de concreto.

9-1-3 Tratamientos de rehabilitación para el pavimento flexible

Los tratamientos de rehabilitación se refiere a los mantenimientos o corrección de los defectos de un pavimento, que permiten alcanzar el mejoramiento deseado en su capacidad estructural, así como la suficiencia funcional y del drenaje estos tratamientos dan lugar a la estimación de su comportamiento y sus costos.

Tratamientos indicados según la evaluación funcional

Estos tratamientos están destinados a reducir la rugosidad o mejorar las condiciones de fricción, en cambio los tratamientos estructurales están referidos al mejoramiento de la capacidad estructural del pavimento.

Vida residual del pavimento

El tratamiento por adoptar depende de la vida residual del pavimento en el instante en el cual se acometan los trabajos de rehabilitación esto se puede conocer a través de la siguiente ecuación.

$$Vr = \left[1 - \frac{N_A}{N_{DA}} \right] * 100$$

DONDE:

NA: Es el número de aplicaciones de carga hasta el instante de la rehabilitación

NDA: Es el número de aplicaciones de carga que soporta el pavimento existente hasta alcanzar la falla.

Tratamientos indicados según la evaluación del drenaje

Comprenden entre otros:

Construcción o reemplazo de cunetas, bordillos y subdrenajes longitudinales.

Reparación de bases permeables

Cambio de sub-bases afectadas por erosión en pavimentos rígidos.

Cambio de material de base en las bermas por otro de mejor capacidad drenante.

9-1-4 Mantenimiento periódicos de rehabilitación del pavimento flexible.

Bacheo

Fresado

Sello de arena-asfalto

Tratamiento superficial

Lechada asfáltica y micro aglomerado en frío

Micro aglomerado en caliente

Capa drenante

Reciclado en sitio en caliente o en frío

Sobre capa asfáltica o con tratamiento antifisuras.

Sobre capa de concreto Whitetopping

Reconstrucción

Bacheo: consiste en la reparación localizada de deterioros debidos a daño estructural o a problemas de materiales o constructivos. El bache puede ser profundo o superficial. A partir de los 4 o 5 años de construcción estos pavimentos comienzan a presentar mayor deterioro en la capa de rodadura por lo que se recomienda para bacheo superficial considerar un 5% de daño en la superficie en los periodos de vida indicados en la tabla periodos de vida de los tratamientos de rehabilitación, para bacheo profundo considerar un 2% cada periodo de mantenimiento indicado. (SIECA, Manual de mantenimiento de pavimentos)

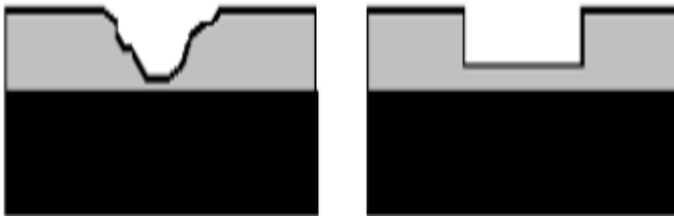
Figura 9.2 Bacheo profundo (remoción de toda la capa asfáltica)



Antes de iniciar el llenado del concreto asfáltico se debe regar con material ligante que sirva de adherencia entre el material viejo y el material nuevo en la caja.

Fresado: consiste en la remoción del material de una capa asfáltica superficial empleando puntas de carburo montadas en un tambor rotatorio, esta técnica se suele combinar con la colocación de una sobre capa para compensar la pérdida de espesor. El material fresado se acopia para utilizarlo en la elaboración de nuevas mezclas asfálticas.

Figura 9-3 - Fresado de superficie deteriorada del pavimento flexible.



Fuente: (Selección de tratamientos y estrategias de Rehabilitación de los pavimentos Rígidos y Flexibles, 2005).

Limpieza y preparación del área por someter a bacheo

Sello de arena – asfalto

Consiste en la aplicación de una emulsión de rotura rápida seguida por la extensión y compactación de una capa delgada de arena. Se aplica para impermeabilizar capas de rodadura que presenten excesos de vacíos con aire y sean susceptibles de deterioro prematuro por envejecimiento y alta permeabilidad.

Tratamiento superficial. Se usa para impermeabilizar y rejuvenecer la superficie, así como para mejorar las características de fricción.

Microaglomerado en caliente: Este tratamiento se usa para restablecer la resistencia al deslizamiento de pavimentos estructuralmente competentes, también son efectivos en el mejoramiento del drenaje superficial.

Capa drenante: se emplea para el mejoramiento del drenaje superficial y de la resistencia al deslizamiento, además mejora la visibilidad y la seguridad en condición de pavimento húmedo, disminuye el ruido por la circulación vehicular.

Sobrecapa asfáltica: Se utiliza para corregir deficiencias superficiales del pavimento relacionadas con la comodidad de circulación y la resistencia al deslizamiento, también para incrementar su capacidad estructural. La más común es elaborada con mezcla asfáltica en caliente, el espesor del refuerzo varía entre 25mm y 200mm.

Sobre capa asfáltica con tratamiento antifisuras: La sobre capa se suele complementar con algunas medidas previas de protección para retardar el reflejo

premature de grietas del pavimento existente si el bacheo resulta impracticable: geosintéticos, membrana absorbente de esfuerzos, capas de alivio del reflejo de grietas. Se recomienda para la actividad de sellado de fisuras asumir que un 10% de la superficie total necesitara trabajos de rehabilitación de sellado cada periodo de vida de la rehabilitación.

Tabla 9.1 Rangos típicos de vidas de servicio para tratamientos de rehabilitación de pavimentos asfálticos

| Tratamiento | Rango de Vida (Años) |
|--------------------------------------------------|----------------------|
| Bacheo Profundo del 2% del Volumen Total | 4 a 8 |
| Tratamiento Superficial del 5% del Volumen Total | 5 a 7 |
| Lechada Asfáltica del 10% del Área Total | 3 a 5 |
| Microaglomerado en Frio | 5 a 7 |
| Microaglomerado en Caliente | 5 a 8 |
| Capa Drenante | 8 a 10 |
| Reciclado en Sitio (En Caliente) | 4 a 8 |
| Reciclado en Sitio (En Frio) | 4 a 8 |
| Sobrecapa Asfáltica | 4 a 15 |
| Sobrecapa en Concreto | 20 a 30 |
| Reconstrucción Asfáltica | 10 a 20 |
| Reconstrucción en Concreto | 20 a 30 |

Fuente: (Aguilar, 2014).

Podemos ver que el pavimento flexible requiere más costos adicionales por mantenimiento (SIECA, Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras , 2010)

9-2 Tratamientos de rehabilitación para pavimento rígido

El pavimento rígido requiere mantenimiento rutinario constante pero menos mantenimiento periódico este se estima que a partir de los 9 años el pavimento comienza a dañarse. Esta importante características nos indica que sus costos por mantenimiento son menores que los requeridos por el pavimento flexible.

Reparación en profundidad parcial: Son daños localizados en el tercio superior de la losa, como descascamiento en las juntas, se puede reparar con mezcla convencional o de alta adherencia. Si el pavimento se va a reforzar, este deterioro puede ser reparado con mezcla asfáltica cuando el refuerzo va a ser una sobre capa asfáltica o una sobre capa de concreto no adherida.

Reparación del espesor total de la losa: Consiste en el reemplazo total del área afectada del en el ancho del carril y en toda la profundidad de la losa, cuando esta reparación se realiza en pavimentos con juntas, se deben colocar varillas de transferencia de cargas en las juntas de contracción con las losas vecinas. Si es un pavimento de refuerzo continuo, se deberá reponer también la armadura, la cual deberá quedar unida a la de las losas adyacentes en las juntas transversales.

Reemplazo de losas: Consiste en la remoción de losas aisladas que se hayan deteriorado por motivos estructurales, de materiales o constructivos y construcción de nuevas losas en el área afectada, constituye una solución más económica que la reparación de una porción de losa en espesor total, cuando la longitud de las losas es corta igual que lo dicho anteriormente se deben colocar refuerzos entre juntas.

Subsellado

Esto se refiere al relleno de vacíos localizados bajo las esquinas y las juntas de las losas mediante la adición de un material en estado fluido, a través de orificios perforados a través de la losa, el propósito del sellado es limitar las deflexiones de la losa y reducir el escalonamiento. El material de relleno más utilizado es la lechada de cemento, aunque también puede ser empleado el asfalto sólido, el trabajo se debe realizar solamente en las esquinas de losas con vacíos si no se hace así se puede destruir la uniformidad del soporte lo que ocasionaría incrementos de esfuerzo en la losa de concreto.

Restauración de la transferencia de carga

Lo más conveniente y recomendado es la instalación de pasadores a través de grietas o de juntas que no los poseen. La operación mejora la capacidad estructural por el mejoramiento de la transferencia de carga en las juntas y la disminución de esfuerzos que produce en las esquinas de las losas adyacentes.

El proceso involucra el acerrado de ranuras a través de la junta o grieta, la instalación de pasadores y el relleno de la ranura, con el mismo material empleado en las reparaciones de espesor parcial.

Resallado de juntas

Consiste en la remoción del sellado antiguo si existe, el acerrado de una nueva caja de dimensiones apropiadas para el sellante por usar, la limpieza de la nueva caja en todo su espesor y la instalación del sellante considerar un 10% de daños.

Sobrecarpeta asfáltica sobre losas fracturadas: La fractura mecánica de losas se realiza para mitigar el reflejo de grietas en la sobrecarga.

Sobrecarpeta de concreto adherida: Se coloca para aumentar la capacidad estructural o para mejorar la serviciabilidad de un pavimento rígido en servicio en estado aceptable, se requiere una reparación cuidadosa de la superficie para asegurar la adhesión entre las dos capas de concreto.

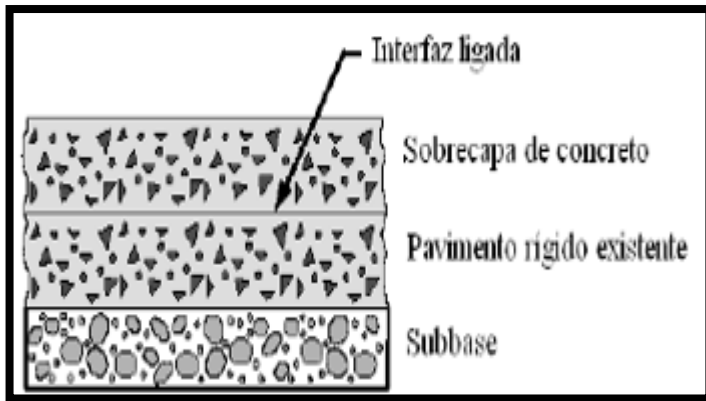


Figura 9.4 Sobre capa de concreto adherida

Sobrecarpeta no adherida

Su función es mejorar la capacidad estructural, es un alternativa atractiva donde la duración de una reconstrucción sea un asunto de presión pública, el concreto asfálticos es el material preferido como capa de separación aunque se puede colocar gravas permeables tratadas con asfalto, arenas asfalto y bases granulares.

SOBRECAPA DE CONCRETO NO ADHERIDA

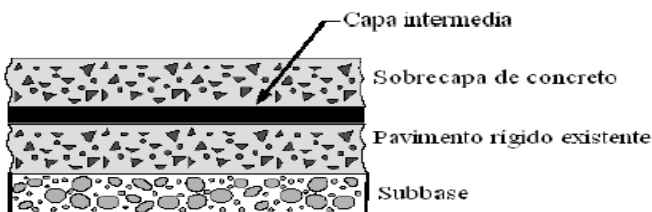


Figura 9.5 Sobre capa de concreto no adherida

Mejoramiento del sub-drenaje: Involucra actividades de sub-drenes longitudinales y tuberías de salida y el mejoramiento de la permeabilidad de las sub-base mediante su reemplazo en las bermas por un material de mayor capacidad Drenante.

El efecto beneficio del mejoramiento del sub-drenaje depende de si el agua en la estructura del pavimento puede ser efectivamente removida y que tan bien se haya diseñado construido y mantenido el sistema.

Reconstrucción total del pavimento:

Consiste en la demolición, remoción y reemplazo parcial o total del pavimento rígido existente, conservando la explanación, y el alineamiento de la vía. El rango de vida de la reconstrucción puede oscilar entre 10 y 20 años para la solución asfáltica y para el rígido entre 20 y 30 años.

Tabla 9.2 Rangos típicos de vida de servicio por rehabilitación de pavimento

Rígido.

| Rangos Típicos de Vidas de Servicio para Tratamientos de Rehabilitación de Pavimentos Rígidos | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Tratamientos | Rango Típico (Años) |
| Reparación en Profundidad Parcial del 5% | 10 a 15 |
| Reparación del Espesor Total (Vida Útil) | Tanto como el Pavimento existente |
| Reemplazo de Losas (2%) | Tanto como el Pavimento existente |
| Restauración de la Transferencia de Cargas | 8 a 10 |
| Resellado de Juntas | 2 a 5 |
| Cepillado | Hasta 5 |
| Sobrecapa Asfáltica Estructural | 8 a 15 |
| Sobrecapa Asfáltica sobre Losas Fracturadas | 15 a 20 |
| Sobrecapa de Concreto No Adherida | 20 a 30 |
| Sobrecapa de Concreto Adherida | 15 a 25 |
| Reconstrucción Asfáltica | 10 a 20 |
| Reconstrucción en Concreto | 20 a 30 |

Fuente:(Selección de tratamientos y estrategias de Rehabilitación de los pavimentos Rígidos y Flexibles, 2005).

9-2-1 Efectos del mantenimiento y la rehabilitación

El mantenimiento reduce la velocidad del deterioro del pavimento corrigiendo pequeños defectos antes de que ellos empeoren y conduzcan a deterioros mayores. El simple mantenimiento no es suficiente y se requieren obras de rehabilitación que conducen a un mejoramiento en la condición del pavimento.

El pavimento se deteriora con menor rapidez debido al mantenimiento rutinario, Un trabajo inicial de rehabilitación restaura la condición del pavimento. Una segunda intervención de rehabilitación restaura la mayoría de la condición original del pavimento, esta actividad interviene en los costos como en la vida del pavimento.

Tabla 9.3 Tratamientos de Rehabilitación del Pavimento Rígido.

| Daños en el Pavimento | Parámetro | Método de Reparación | Descripción |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Desportillamiento, Juntas Transversales y Juntas Longitudinales de Construcción o Contracción | Mayor a 1.5cm desde el centro de la junta | Caja | Cortar 2cm fuera del área afectada paralela a la junta, extraer material a una profundidad media de 2cm y realizar limpieza. Rellenar con mortero epoxico y compactar. Luego realizar textura. |
| Marcas u Oquedad | Huellas, daños de superficie, etc. | Caja | Cortar 2cm fuera del área afectada paralela a la junta, extraer material a una profundidad media de 2cm y realizar limpieza. Rellenar con mortero epoxico y compactar. Luego realizar textura. |
| Desportillamiento, Juntas Longitudinales de Construcción | Menor a 2.5cm desde el centro de la Junta | No se interviene | Si se interviene con caja se desprende a corto plazo |
| Fisuras de Viento o Plástica | Menores de 30mm y menor a 2mm | No se interviene | |
| Fisuras de Viento o Plástica | Mayores de 30mm mayor a 2mm | Sellado semiflexible | Se realiza corte sobre fisura, se limpia y se aplica sello |
| Fisuras Transversales | Fisura que no cruce la losa desde arriba hasta abajo. | Se sustituye | Se remueve la losa afectada y se sustituye por una completa |

Fuente: (LLANSA, 2015).

Continuación de la tabla 9-3 Tratamientos de rehabilitación del pavimento rígido.

| Daños en el Pavimento | Parámetro | Método de Reparación | Descripción |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Fisuras Transversales | Fisura que no cruce la losa desde arriba hasta abajo, retirada a menos de 150mm de una junta paralela. | Caja | Corte a 2cm de profundidad y corrido de Ancho Variable |
| Fisuras Transversales | Fisura que no cruce la losa desde arriba hasta abajo, retirada a menos de 150mm de una junta paralela. | Sellado semiflexible | Se realiza corte sobre fisura, se limpia y se aplica sello Semiflexible |
| Fisuras por Corte Tardío | Fisura paralela a la junta de contracción | Sellado semiflexible | Se realiza corte sobre fisura, se limpia y se aplica sello Semiflexible |
| Fisuras Estructurales por Corte Tardío | Fisura paralela a la junta de contracción | Se sustituye | Se remueve la losa afectada y se sustituye por una completa |
| Textura de Rayado Superficial | Rayado manual | Se raya consiguiendo una profundidad | Rayar con disco manual |

Fuente: (LLANSA, 2015).

Análisis de costos durante el ciclo de vida

El análisis de costos durante el ciclo de vida (ACCV) es un proceso a través del cual se evalúan todos los costos involucrados en la construcción, mantenimiento y rehabilitación y los impactos asociados de los usuarios de un pavimento, sobre un determinado período de análisis

El ACCV es una comparación económica de alternativas factibles de un proyecto, evaluadas a lo largo del mismo período de análisis

Número de años utilizado para evaluar las estrategias de actuación a largo plazo, basadas en los costos del ciclo de vida.

Su duración debe exceder el período de diseño de las obras iniciales, de manera que incluya al menos un trabajo de rehabilitación, para establecer las diferencias de costos a largo plazo entre alternativas

Costos a considerar en el análisis

Costos de la agencia

Costos de proyecto (estudios, diseños)

Costos iniciales de construcción

Costos de mantenimiento

Costos de las rehabilitaciones y/o reconstrucciones

Valor residual del pavimento

Costos de los usuarios

Costos de operación vehicular

Costos por demoras durante la ejecución de las obras

Costos de mantenimiento

Comprenden los costos asociados con el mantenimiento superficial del pavimento a un nivel aceptable predeterminado, este incluye los costos de las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo, pero no los de rehabilitación. Comprende los costos asociados con las obras de rehabilitación que requiera el pavimento durante el periodo de análisis.

Costos de los usuarios

Son aquellos en los cuales incurren los usuarios debido al tipo de pavimento y su condición, así como a causa de las actividades de mantenimiento y rehabilitación. Incluyen los costos por la operación vehicular normal y los generados por pérdidas de tiempo por disminuciones de velocidades de viaje o el cierre parcial de las vías a causa de las actividades de mantenimiento o rehabilitación,

Costos de los usuarios por operación vehicular normal

Están asociados con la rugosidad del pavimento.

Costos de los usuarios por demoras

Los costos asociados a estas demoras son los más difíciles de establecer debido a la dificultad de asignar el costo del tiempo de cada usuario.

El costo de los usuarios por demoras se puede conocer a través de la siguiente ecuación.

$$CU = \left[\frac{L}{VR} - \frac{L}{VL} \right] (TPD)(PT)(PC)$$

CU: es el costo de los usuarios por las demoras

X: Valor promedio de la demora por vehículo/hora, L: es la longitud del tramo

VR: velocidad de operación antes de llegar a la zona de las obras.

TPD: transito promedio diario en el año de ejecución de las obras

PT: proporción del tránsito cuya velocidad es afectada

PC: periodo de ejecución de los trabajos

Valor de salvamento del pavimento

UCR= costo de la última rehabilitación o de la construcción si el pavimento no se a rehabilitado.

VRE= Vida residual esperada y VTE= vida total esperada

El valor de salvamento del pavimento si no ha completado el ciclo de vida, el valor de salvamento se explica en el capítulo 11 Análisis económico de este documento. se puede calcular a partir de la siguiente ecuación

$$VS= UCR (VRE / VTE)$$

Valor presente

$$VP= CI+COM (P/A, i, n) - VS(P/F,i,n)$$

9-3 Costos de construcción y mantenimiento

Para conocer las cantidades de obras requeridas en la construcción de una carretera nueva construida con pavimento rígido y flexible se tomó como muestra el tramo Unikwas – Mulukuku (3km) en Rio Blanco Siuna. Es importante mencionar que el presupuesto concluyente en lo referente a construcción nueva es variante para cada carretera en particular, ya que estas poseen características únicas que las diferencian unas de otras por el lugar donde se construyan, del tipo de suelo sobre el cual se cimente, variaciones por costos de transporte como medio para la obtención de materia prima requerida en la obra, etc. Sin embargo, la comparación tanto técnica como económica del uso de pavimento rígido y flexible utilizado en la misma carretera permitirá concluir en la mejor alternativa constructiva.

Cantidades de obras: Para determinar el volumen de excavación del movimiento de tierra en el tramo de carretera en estudio, Mediante el uso del programa Land Desktop Development se obtuvo como resultado de la Est. -2+000 a 0+000 y de la Est. 0+000 a la Est. 1+000.00 un volumen de 405m³. La excavación se realizó a una profundidad de corte de 0.75m profundidad suficiente para estabilizar los sitios donde se encuentre material de mala calidad.

Vol. = 7,210.00m³ (volumen para rellenar terraplenes en el prisma de la Calzada)

Volumen = 11,655.00m³ (Relleno de subexcavación de Est. -2+000 a Est. 0+000, y de la Est. 0+000 a la Est. 1+100.00, que corresponde a una capa de 0.75m).

Tabla 9.4 Obras de drenaje

| Concepto de Obra | Unidad de Medida | Cantidad |
|-------------------------------------------------------|------------------|---------------|
| Tubería de Concreto Reforzado de 91cm (36"), Clase 3 | Ml | 18.75 |
| Tubería de Concreto Reforzado de 106cm (42"), Clase 3 | ml | 78.75 |
| Tubería de Concreto Reforzado de 137cm (54"), Clase 4 | ml | 28.75 |
| Tubería de Concreto Reforzado de 182cm (54"), Clase 3 | ml | 37.50 |
| Material de Relleno de Alcantarillas | m ³ | 44.32 |
| Material de Relleno de Alcantarillas | m ³ | 602.15 |

Fuente: (LLANSA, 2015).

Se colocaran 163.75ml de alcantarilla.

Tabla 9.5 Cantidades de obras referentes a mantenimientos rutinarios.

| Señalización | | Unidad | Cantidad |
|--------------|------------------------------------------------------|--------|-----------------|
| 801(1A) | Instalación de Señales de 30.50cm x 61.00cm | c/u | 3.00 |
| 801(1D) | Instalación de Señales de 76.20cm x 76.20cm | c/u | 3.00 |
| 801(1E) | Instalación de Señales de 61.00cm x 91.40cm | c/u | 5.00 |
| 801(1H) | Instalación de Señales de 30.00cm x 90.00cm | c/u | 20.00 |
| 802(1) | Marcas de Pavimento, Tipo Línea Continua Amarilla | ml | 1,930.00 |
| 802(1A) | Marcas de Pavimento, Tipo Línea Continua Blanca | ml | 6.000.00 |
| 802(1B) | Marcas de Pavimento, Tipo Línea Discontinua Amarilla | MI | 1,070.00 |
| 914(4) | Poste Guía | c/u | 36.00 |
| 914(6) | Poste de Kilometraje | c/u | 6.00 |

Fuente: (LLANSA, 2015).

Los postes guías se han calculado para aquellos tramos en donde haya desniveles mayores de 1.5 m en los hombros, en las curvas y para indicar alcantarillas y entradas a puentes, Estos postes se instalarán en tramos rectos a 50 m de distancia y en las curvas en función del radio.

Instalación: Las señales verticales se instalarán conforme las siguientes referencias: Retiro lateral del borde de la calzada a la arista exterior del tablero 180 cm, en la zona urbana, y 180 cm., después del hombro, en la zona rural.

Cuando haya suficiente amplitud hay que retirarlas lo suficiente para evitar que sean golpeadas, principalmente en la zona rural.

Las alturas de los tableros en la zona urbana debe ser de 2.00 m. Contados desde el nivel de la banqueta hasta la arista inferior del tablero, y para la zona rural de 1.50 m.

Derecho de Vía: El derecho de Vía se fijó en una franja de 40 metros (20 metros a cada lado del eje de la carretera) en correspondencia con lo establecido en las Normas SIECA, las cuales establecen un derecho de vía entre 40 y 50 metros. Se utilizó el rango inferior considerando que la carretera es una troncal secundaria y no una carretera principal, que justifica un derecho de vía de 50 metros.

Ancho de rodamiento (7.00 metros en zona rural): El ancho de la superficie de rodamiento es el factor que más influye en el costo, pero también es la garantía de la seguridad y comodidad del usuario, por eso la propuesta de la dimensión más conveniente fue analizada cuidadosamente.

Rango de Pendientes Máximas (6” a 8% en 350 metros para terreno plano, 4% a 6% en 200 en terreno ondulado): Estas pendientes han sido determinadas considerando las características del terreno y la cantidad y composición de tráfico previsto según el estudio correspondiente.

Velocidad de diseño (60 kms / hora en terreno plano y ondulado zona rural):

Volúmenes de tránsito: Las velocidades también son consistentes con un camino que en este momento tiene un volumen de tráfico medio, apenas 367vpd, proyectándose un incremento del tránsito promedio diario anual a 900 vehículos al final de su vida útil.

9-3-1 Costos por mantenimientos del pavimento flexible

Los costos por mantenimientos estarán referidos a los costos rutinarios y los costos periódicos. Los mantenimientos periódicos se calcularán según los rangos de vida de cada rehabilitación indicados en la tabla 9-1 y los rutinarios según tabla 9-6.

Tabla 9.6 Mantenimiento rutinario inicial

| Mantenimiento | Unidad | Frecuencia | Cantidad | Costo unitario | Costo total C\$ |
|-------------------------------------|------------|-------------|----------|-------------------|-----------------|
| Limpieza del derecho de vía | Hectárea | 2 / año | 9.92 | 9000 CS./hectárea | 162000 |
| Limpieza y rectificación de cunetas | Km | 2 / año | 6 | 2,432CS | 29184 |
| Limpieza de alcantarillas | MI | 2 / año | 163.78 | 140 córdobas | 45858.4 |
| Limpieza de caja puente | MI | 2 / año | 4 | 250 CS | 1000 |
| Postes guías | 1 cada 7km | Cada año | 42 | 881 | 37002 |
| Señales verticales | 1 cada 3km | Cada 10 año | 31 | 544 | 16864 |

Fuente: Elaboración Propia.

Costo mantenimiento rutinario inicial =291908.4CS =10538.21 dólares

1 dólar=27.7 córdobas

Si el pavimento se proyecta para una vida útil de 20 años esto significa que el mantenimiento rutinario será 20 veces el costo indicado en la tabla por lo que este tipo de mantenimiento generaría un costo igual a $8869 \times 20 = 177380$ Córdobas este costo indicado es sin proyecto.

9-3-2 Costos por mantenimiento rutinario del pavimento rígido Costos y presupuestos requeridos por actividades de mantenimiento.

Para conocer el costo por esta actividad es necesario utilizar las cantidades de obra y las características de una carretera por tal razón estos costos estarán referidos al proyecto de carretera Unikwas-Mulukuku

Tabla 9.7 Costos por mantenimientos rutinarios anual para pavimento flexible considerando las cantidades de obra del proyecto Unikwas-Mulukuku.

| Mantenimiento | Unidad | Frecuencia | Costo unitario en C\$ | Cantidad | Costo total C\$/Año |
|-------------------------------------|----------------|------------|-----------------------|----------|---------------------|
| Limpieza del derecho de vía | Ha(hectárea) | 2 / año | 9000 CS./hectárea | 9.92 | 178560 |
| Limpieza y rectificación de cunetas | Km | 2 / año | 2,432 CS | 12x2 | 58368 |
| Limpieza de alcantarillas | MI | 2 / año | 140 córdobas | 163.68 | 45830 |
| Limpieza de caja puente | MI | 2 / año | 250 CS | 4x2 | 2000 |
| Postes guías | 1 cada 7 km | Cada año | 881.2 | 0.43 | 378.916 |
| Señales verticales | 1 cada 3km | Cada año | 544 | 1 | 544 |
| Pintura de línea | M ² | | 596.93/Gal | 300 | 17907.9 |

Fuente: Elaboración Propia.

Un galón de pintura=30m²

Costo total anual por mantenimiento rutinario= Doscientos ochenta y cinco mil seiscientos ochenta punto novecientos dieciséis córdobas por año (C\$ 285680.916 C\$ / Año).

Equivalente en dólares Diez mil trescientos trece punto treinta y nueve dólares (\$10313.39 dólares) con un equivalente de 1 dólar =27.7 córdobas

Tabla 9.8 Costos por actividades de mantenimiento periódico del pavimento flexible.

| Tratamiento | Unidad | Frecuencia En años | Cantidad | Costo unitario En córdobas | Costo total C\$ |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|----------------------------|
| Bacheo profundo 2% | M ³ | 4,6,10,16,18,20 | 42 | 11984 | 503328 CS |
| Fresado | 0.8x0.05m | 4,6,10,16,18,20 | 42 | 80.2034/ml | 3368.54 |
| Sello arena-asfalto 10% | M ² (e=0.02) | 8, 10 | 2100 | 17.3622/m ² | 36460.62 |
| Tratamiento o bacheo superficial 5% | M ² (e=0.05) | Cada 2 años | 1050 | 137.9040CS/m ² | 144799.2 |
| Bacheo asfáltico y micro aglomerado en frio 2% | M ³ E=0.1 | De 5 a 7 años | 42 | 3588cs/m ³ | 150696 CS |
| Capa drenante 10% | M ³ | 8 a 10 años | 105 | 24.36 | 2557.8 |
| Sobre capa asfáltica o con tratamiento antifisuras. 10% | De 25 a 200 mm | 4 a 15 años | 52.5 | 80 | 4200 |
| Sobre capa de concreto 2% | M ³ | Cada 10, 0 20 | 42 | 3525 | 148050 |
| Reconstrucción | Base=20, sub- base=15, e=5cm | 10 años | 1050 | 1,173.2381/m ² | 1231900 |
| Pintura de línea | Km | 5,10,16 | 9 | 15494 CS/km | 139446 |

Los porcentajes de daños asumidos son considerados en base a estudios estadísticos y a través de la experiencia de instituciones a fin.

Fuente: (Jorge, 2000)

Costos según NUEVO FISE 2015.

Tabla 9.9 Costos por tratamientos de rehabilitación para pavimento rígido

| Tratamiento | Frecuencia | Cantidad | Costo unitario | Costo total C\$ |
|------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Reparación en profundidad 5% parcial e=0.05m | Cada 10 años | 52.5m ³ *0.3 | 3525 cs /m ³ | 185062.5 CS |
| reparación del espesor total 2% | Tanto como el pavimento existente | 75.6m ³ | 3525 CS/m ³ | 266490 CS |
| reemplazo de losas 2% | Tanto como el pavimento existente | 75.6m ³ | 3525 cs/m ³ | 266490 CS |
| restauración de la transferencia de cargas 10% | De 8 a 10 años | 300ml | 4.5 CS/ML | 1350 CS |
| resellado de juntas | De 2 a 5 | 16500ml | 16500ml 4.5 CS/ML | 7425 CS |
| Sobrecapa asfáltica estructural e=0.05 | Hasta 15 | 21000m ² | 137.904 CS/M ² E=0.05 | 144795 CS |
| Sobrecapa asfáltica sobre losas fracturadas | 10 a 20 años | 21000m ³ | 137.904CS/M ² E=0.05m | 144795 |
| Sobrecapa de concreto no adherida | 15 a 25 años | 1050m ³ | 3525 CS/m ³ | 3701250 |
| Sobrecapa de concreto adherida | 15 a 25 | 1050m³ | 3525 CS/m³ | 3701250 |
| Reconstrucción asfáltica e=0.05 | 10 a 20 | 1050m ³ | 3726 CS/M ³ | 3912300 |
| Reconstrucción en concreto e=0,05m | 20 a 30 | 1050m³ | 4140CS/M³ | 4347000 |

Fuente: (Catalogo Centroamericano de Daños a pavimentos viales tomo II, 2000)

Costo total por mantenimiento requerido para el pavimento flexible utilizando las cantidades de obras según el proyecto Unikwas-Mulukuku es de 4928707.5 córdobas equivalente a 177931.68 dólares cambio 1dolar=27.7 córdobas

Tabla 9.10 Costos por mantenimiento a lo largo de la vida útil del pavimento Flexible por actividades.

| Año | Rutinario CS/año | Bacheo Profundo | Bacheo Superficial | Sello y Capa Drenante | Sobrecapa Asfáltica y concreto | Pintura de Línea | Reconstrucción | Costo anual En córdobas |
|--------------|---------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|----------------|--------------------------------------|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | 285680.92 | | 144799.3 | | | | | 430479.92 |
| 3 | 285680.92 | | | | | | | 285680.92 |
| 4 | 285680.92 | 503328 | 144799.2 | | | | | 933808.12 |
| 5 | 285680.92 | | | | | 139446 | | 425126.92 |
| 6 | 285680.92 | 503328 | 144799.2 | | | | | 933808.12 |
| 7 | 285680.92 | | | | | | | 285680.92 |
| 8 | 285680.92 | | 144799.2 | 39018.42 | | | | 469498.54 |
| 9 | 285680.92 | | | | | | | 285680.92 |
| 10 | 285680.92 | 503328 | 144799.2 | | 152250 | 139446 | 1231900 | 2457404.12 |
| 11 | 285680.92 | | | | | | | 285680.92 |
| 12 | 285680.92 | | 144799.2 | | | | | 430480.12 |
| 13 | 285680.92 | | | | | | | 285680.92 |
| 14 | 285680.92 | | 144799.2 | | | | | 430480.12 |
| 15 | 285680.92 | | | | | | | 285680.92 |
| 16 | 285680.92 | 503328 | 144799.2 | 39018.42 | | 139446 | | 1112272.54 |
| 17 | 285680.92 | | | | | | | 285680.92 |
| 18 | 285680.92 | 503328 | 144799.2 | | | | | 933808.12 |
| 19 | 285680.92 | | | | | | | 285680.92 |
| 20 | 285680.92 | 503328 | 144799.2 | | 152250 | | 1231900 | 2317958.12 |
| total | 5427937.5 | 3019968 | 1447992 | 78036.84 | 1231900 | 418338 | 2463800 | 13160572.9 |

Los costos requeridos por mantenimientos del pavimento flexible durante su vida de diseño es de Trece millones ciento sesenta mil quinientos setenta y dos punto nueve (C\$13160572.9 córdobas), equivalente a 475110.94 dólares 1dolar=27.7 Córdobas

Tabla 9.11 Costos por mantenimientos periódicos del pavimento rígido

| Tratamiento | Frecuencia | Cantidad | Costo unitario | Costo total C\$ |
|------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Reparación en profundidad 5% parcial e=0.05m | Cada 10 años | 52.5m ³ *0.3 | 3525 cs /m ³ 52 | 185062.5 |
| reparación del espesor total 2% | Tanto como el pavimento existente | 75.6m ³ | 3525 C\$/M ³ | 266490 |
| reemplazo de losas 2% | Tanto como el pavimento existente | 75.6M ³ | 3525 C\$/m ³ | 266490 |
| restauración de la transferencia de cargas 10% | De 8 a 10 años | 300ml | 4.5C\$/ML | 1350CS |
| resellado de juntas | De 2 a 5 | 16500ml | 4.5 CS/ML | 74250 CS |
| Sobrecapa asfáltica estructural e=0.05 | Hasta 15 2% | 420M ² | 137.904C\$/M ² E=0.05 | 57919.68 CS |
| Sobrecapa asfáltica sobre losas fracturadas | 10 a 20 años 2% | 420M ² | 137.904CS/M ² E=0.05m | 57919.68 CS |
| Sobrecapa de concreto no adherida | 15 a 25 años | 420M ³ | 3525 CS/m ³ | 1480500 CS |
| Sobrecapa de concreto adherida | 15 a 25 | 420m³ | 3525 CS/m³ | 1480500 cs |
| Reconstrucción asfáltica e=0.05 | 10 a 20 | 1050M ³ | 3726 CS/M ³ | 3912300 |
| Reconstrucción en concreto e=0,05m | 20 a 30 | 1050M³ | 4140CS/M³ | 4347000 |

(Estudio e Investigaciones del estado Actual de las obras de la red Nacional de carreteras de Colombia, 2008)

Comparación Técnico–Económica del Uso de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible en Nicaragua. Estudio de Caso: Tramo Unikwas-Mulukuku

Tabla 9.12 Costo por Actividades que se pueden considerar en el mantenimiento de pavimento rígido I

| Año | Mantenimiento rutinario | Reparación En profundidad parcial | Reemplazo de losa Y e, total | Restauración De transferencia de cargas | Resellado | Sobrecapa asfáltica estructural | Línea Del pavimento | Costo total EN C\$ |
|---------------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------|--------------------|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | 285680.92 | | | | | | | 285680.9 |
| 3 | 285680.92 | | | | | | | 285680.9 |
| 4 | 285680.92 | | | | | | | 285680.9 |
| 5 | 285680.92 | | | | 74250 | | 139446 | 499376.9 |
| 6 | 285680.92 | | | | | | | 285680.9 |
| 7 | 285680.92 | | | | | | | 285680.9 |
| 8 | 285680.92 | | | | | | | 285680.9 |
| 9 | 285680.92 | | | | | | | 285680.9 |
| 10 | 285680.92 | 185062.5 | | 1350 | 74250 | | 139446 | 685789.4 |
| 11 | 285680.92 | | | | | | | 285680.9 |
| 12 | 285680.92 | | | | | | | 285680.9 |
| 13 | 285680.92 | | | | | | | 285680.9 |
| 14 | 285680.92 | | | | | | | 285680.9 |
| 15 | 285680.92 | | | | 74250 | 57919.68 | | 417850.6 |
| 16 | 285680.92 | | | | | | 139446 | 425126.9 |
| 17 | 285680.92 | | | | | | | 285680.9 |
| 18 | 285680.92 | | | | | | | 285680.9 |
| 19 | 285680.92 | | | | | | | 285680.9 |
| 20 | 285680.92 | 185062.5 | 266490 | 1350 | 74250 | | | 812833.5 |
| Tot al | 5427937.48 | 370125 | 266490 | 2700 | 297000 | 57919.68 | 418338 | 6840510 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9.13 Actividades de reconstrucción del pavimento rígido

| Año | Sobre capa asfáltica Sobre losas fracturadas | Sobre capa de concreto no adherida | Sobre capa De concreto adherida | Reconstrucción Asfáltica | Reconstrucción En concreto | Costo total En C\$ |
|--------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | 57919.68 | | | | | 57919.68 |
| 11 | | | | | | |
| 12 | | | | | | |
| 13 | | | | | | |
| 14 | | | | | | |
| 15 | | 1480500 | 1480500 | | | 2961000 |
| 16 | | | | | | |
| 17 | | | | | | |
| 18 | | | | | | |
| 19 | | | | | | |
| 20 | | | | 3912300 | | |
| Total | 115839.4 | 3701250 | | 5969880 | 4347000 | 3018919.7 |

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La comparación de costos por mantenimiento se debe hacer de acuerdo a la actividad que se ejecute en el mantenimiento ya que cada una de estas, tiene su propia duración, en el cuadro se muestran las actividades que se podrían aplicar en el mantenimiento de pavimentos, cabe mencionar que en un mismo año no se podrían tener todas las fallas descritas en la superficie de rodamiento, por lo que no sería adecuado dar un costo total por mantenimiento a lo largo de la vida de diseño del pavimento para todas las actividades de mantenimiento, sin embargo la consideración abarca la posibilidad de que sucedan en cualquier momento analizándose desde el punto de vista del tiempo que dure la rehabilitación.

Costo total por mantenimiento del pavimento rígido=6840510 córdobas, equivalentes a=246949.82 dólares 1 dólar=27.7 córdobas

Por lo tanto en factor de mantenimiento entre el pavimento rígido y el pavimento flexible es de factor=**13160572.9 / 6840510 =1.924**

Esto indica que el pavimento flexible es 0.924 veces más caro con respecto al pavimento rígido por costos de mantenimiento.

Tabla 9.14 Renta horaria por equipos de construcción y mantenimiento.

| Equipos | U/M | Costo C\$ |
|------------------------|------------|------------------|
| Camión volquete | Hora | 488 |
| Camión Asfaltador | Hora | 440 |
| Compactador manual | Hora | 140 |
| Compresor | Hora | 217 |
| Camión plataforma | Hora | 338 |
| Fresadora de pavimento | Hora | 812 |

Fuente: (LLANSAINGENIEROS, 2015).

Tabla 9.15 Costos por operación de maquinarias.

| Mano de obra | Unidad | Costo unitario C\$ |
|--------------------------------|----------------|-------------------------------|
| Volquetero 60m ³ /h | Hora | 33.83 |
| Camión Asfaltador | Hora | 37 |
| Compactador manual | Hora | 28.85 |
| Compresor | Hora | 28.85 |
| Camión plataforma | Hora | 29.85 |
| Fresadora de pavimento | Hora | 32.33 |
| Ayudante | Hora | 28.85 |
| Capataz | Hora | 51.12 |
| Prestaciones sociales | Hora | 16095 |
| Viáticos | Hora | 12287 |
| Descripción | Unidad | Costo unitario C\$ |
| Emulsión CRS-2p | Gal | 67.83 |
| Mezcla asfáltica | M ³ | 1926.47 |
| Combustible | Gal | 90.84 |
| Herramientas | Global | 4500 |

Fuente: (LLANSAINGENIEROS, 2015).

Costos por mano de obra requeridas por operarios de maquinarias =54421 C\$

Tabla 9.16 Maquinarias sugeridas para el mantenimiento de pavimento flexible y rígido.

| Equipo | Código | Costo de Posesión (C\$) | Renta Horaria (C\$) |
|---------------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Camión de Plataforma | JAANKR55EX7100028 | 198.89 | 836.72 |
| Volquete | PKC210 E-02466 | 274.94 | 824.46 |
| Compactador Neumático | EXR-00497 | 328 | 989.76 |
| Compactador Doble Rodo Metálico | 5478978 | 328 | 989.76 |
| Distribuidora de Áridos | DOKTORS WELDIN | 274.94 | 842.46 |
| Cisterna Asfaltadora | H36532 | 271.54 | 846.21 |
| Cisterna de Agua 1500 gal | E9T40831 XE007174 | 252 | 885.21 |
| Fresadora | 23201087 | 404.6 | 1575.58 |
| Cortadora de Pavimento | XF0308441 | 58.35 | 151 |
| Vibrocompactador | 20153138 | 101.56 | 218.72 |
| Compresor de Aire | 200904060036 | 110.23 | 528.97 |
| Mezcladora de 2 Sacos | GCBDT-1152329 | 55.85 | 282 |
| Minicargador | A9H02655 | 92.24 | 656 |
| Barredora | 405674 | 92.24 | 656 |
| Máquina para Pintar | | 842.46 | 842.46 |

Fuente: (CATERPILAR, 2015).

El costo por renta horaria que se indica en la tabla incluye costos de posición, costos por combustibles y lubricantes, grasas, costos por rendimiento de combustible, reparación y mantenimiento, además incluye reparación de llantas, baterías y accesorio.

Nota: cuando se desee obtener el costo de adquisición de las maquinarias aquí indicadas en los departamentos se debe afectar el costo por el factor de transporte que se indica en las tablas factores de transporte mostradas en anexos.

Equipo.- El equipo que utilice deberá incluir una barredora mecánica, una motoniveladora, equipo con escoba de arrastre, una aplanadora autopropulsada con un peso mínimo de 5 toneladas, equipo esparcidor de agregados ajustable y equipo para calentar y distribuir a presión el asfalto. Tanto el esparcidor de agregados como el calentador y distribuidor de asfalto.

Tabla 9.17 Renta horaria de maquinarias requeridas para movimiento de tierra y conformación de superficie de sub-rasante.

| Equipos | Renta córdobas / hora |
|---------------------------------|------------------------------|
| Camión volquete 7m ³ | 325 |
| Compactadora manual | 65 |
| Camión Concretero | 429 |
| Compactadora vibratoria 12ton | 377 |
| Cargador frontal 127 hp | 403 |
| Motoniveladora 140HP | 338 |
| Cisterna 1200gal | 299 |
| Tractor 300hp | 793 |
| Bomba de succión | 45 |
| Retroexcavadora | 260 |
| Cisterna de asfalto | 416 |
| Barredora sopladora | 234 |
| Mezcladora de suelos | |

Fuente: (CATERPILAR, 2015).

Capítulo X.

10. Costos y presupuestos.

El análisis de costos estará constituido por los costos de construcción y mantenimientos requeridos por los pavimentos rígidos y flexibles, en base a las cantidades de obras tomadas del proyecto Unikwas-Mulukuku, ubicado en Rio Blanco Siuna.

1- Costos por actividades de movimientos de tierra

Datos generales del proyecto

Derecho de vía=40 m

Ancho de calzada=7m

Longitud del tramo=3km

a) Preliminares

Las actividades preliminares son aquellas tareas que se deben realizar al principio de todo proyecto civil, estas son la limpieza inicial y el trazo y nivelación:

Limpieza inicial

La limpieza inicial se ejecuta por metros cuadrados, para esta actividad se tiene un total de 31800m², esta actividad tiene un costo unitario de 1.28C\$/m², por lo que esta actividad tendrá un costo de:

Costo por limpieza inicial= (31800)(1.28)= C\$40704

Trazos y nivelación

El inicio del trazado consiste en indicar los límites de construcción de la obra que se desee, esta actividad se cuantifico en 31800m², con un costo unitario de C\$30.

Costos por trazos y nivelación= (30)(31800)=C\$954000

-Movimiento de Tierras

Las actividades de movimientos de tierra se pueden clasificar en: Descapote, excavación de la vía, botar tierra, escarificar, conformación y compactación de subrasante, nivelación del material de las capas de la estructura del pavimento.

a) Descapote

Esta actividad se realiza a una profundidad de 10cm y consiste en remover la capa vegetal para evitar que tenga contacto con el material de mejor calidad, y pueda ser reutilizado para otras actividades. Esta actividad se realizara con un tractor D-6.

Costo por descapote= (3180) (32.9)=C\$104622.00

b) Excavación de la vía

Cantidad=3180m³ Costo unitario=C\$54.54/M³

Costo total por excavación=C\$572342.76

c) Botar tierra sobrante de excavación de la base

Costo unitario=C\$325/M³

Volumen=5250m³

Costo total=(5250)(325)=C\$1706250.00

d) Escarificado de 10cm de profundidad de sub-rasante

Cantidad=21000m²

Costo unitario=C\$338/M² la maquina tiene un rendimiento de C\$10969.2/h

Costo total= C\$647.08

Conformación y compactación de sub-rasante

Cantidad= 21000m³

Rendimiento de maquinaria 310m²/h

Costo unitario=C\$377

Costo total=C\$25538.71

e) Nivelación del material base granular

Cantidad=21000m³

Rendimiento de maquinaria=290m³/h

Costo unitario=C\$338/m³

Costo total= C\$24475.8

Costo total por actividades de movimiento de tierra=C\$2433876.42

(Dos millones cuatrocientos treinta y ocho mil ochocientos setenta y seis con cuarenta y dos centavos de córdobas)

-Costos por construcción de carpeta de rodamiento pavimento rígido.

a) Carpeta de Concreto Hidráulico de 18cm de 4000 PSI

Costo unitario del concreto=C\$4163.19/m³ incluye acarreo y chorreado para la ciudad de Managua, a aplicar factor de transporte a los municipios del país, estos factores se muestran en el anexo 1 en adelante.

Datos generales

Espesor de losa=18cm

Longitud=3000m

Ancho de rodadura=7m

Volumen total= (0.18)(3000)(7)=3780m³

Costo total=(3780)(4163.19)=C\$15736858.20

Acarreo de Material Base Granular

Cantidad=5250m³

Costo unitario=C\$488/m³

Costo total=C\$2562000

b) Base granular de 25cm

Cantidad=5250m³/m³

Costo unitario=C\$520

Costo total=C\$2730000

Vibrado del concreto

Cantidad=3000ml

Costo unitario=C\$50

Rendimiento del equipo 150ml/h

Costo total=C\$8000

Formaleta de acero

Cantidad= 500ml

Costo unitario=41

Formaleta de Plywood de ½” de 40cm de alto por 2.44m de largo

Cantidad=500ml

Costo unitario=C\$41/ml

Coto total=C\$20500

c) Sujeción de formaletas

Pines de 3/4" de 0.6m de longitud

Costo unitario=C\$12

Cantidad=100 unidades

Costo total=C\$1200

Acerrado de juntas

Cantidad=C\$20666.67

Costo unitario=C\$280, con rendimiento de 400ml/dia

Costo total=C\$14466.67

d) Sellado de juntas

Cantidad=19500ml

Costo unitario=C\$4.5

Costo total=C\$87750

-Misceláneos señalización vertical y horizontal

Señalización de postes de kilometraje=6

Costo unitario=881.2 CS

Costo total= (881.2) (6)=5287.2 CS

-Postes guías=36

Costo total= (36) (881.2)=31723.2 CS

-Señalización de reglamentación colocar 2 al inicio y al final

2 de (54"x36") Costo unitario= 4431 CS

Costo total= (4431) (2)=8862CS

-Señales de reglamento y de prevención= 31

Costo unitario= 3251 CS

Costo total= (3251) (31)= 100781 CS

-Marcas del pavimento

Líneas continuas amarillas=1930 ml

Líneas blancas=6000ml

Líneas discontinuas amarillas=1070ml

Cantidad total=9000ml=9km

Costo unitario 5494 CS/Km

Costo total= (5494) (9)= 49446 CS

Costo total por misceláneos

Costo total= 196099.4 CS Equivalente a \$7079.4 dólares un dólar=27.7 córdobas.

3- Obras de drenaje menor

Se colocaran alcantarillas de concreto reforzado de las siguientes dimensiones

Alcantarilla circular de (91cm de diámetro) cantidad=18.75ml

Costo unitario=3000 CS/ml

Costo total= (3000) (18.75)= 56250 CS

Tubería de concreto reforzado de (106 cm =42") cantidad=78.75ml

Costo unitario=5000CS/ml

Costo total= (5000) (78.75)=393750 CS

Tubería de concreto reforzada de 137cm=54" cantidad=28.75ml

Costo unitario= 7632.65 CS/ml

Costo total= (7632.65) (28.75)=219438.7 CS

4-Excavación de alcantarillas

Volumen total=602.15m³ Costo unitario=54.54 CS/m³

Costo total= (54.54) (602.15)= 32841.26 CS

Costo total por obras de drenaje menor= C\$962807.36

Tabla 10-1 Resumen de costos constructivos por actividades del pavimento rígido utilizando base granular sin tratar.

| Costos De Materiales/M. Obra/Maquinaria (Pavimento Rígido - Alternativa I) – Construcción | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|----------|----------------------|-------------------|
| Descripción | U/M | Rendimiento | Cantidad | Costo Unitario (C\$) | Costo Total (C\$) |
| Preliminares | | | | | |
| Limpieza Inicial | M ² | | 31800.00 | 1.28 | 40704.00 |
| Trazo y Nivelación | M ² | | 31800.00 | 30.00 | 954000.00 |
| Total | | | | | 994704.00 |
| Movimiento de Tierras | | | | | |
| Descapote de 10cm | M ³ | | 3180.00 | 32.90 | 104622.00 |
| Excavación de la Vía con espesor de 33cm | M ³ | | 10494.00 | 54.54 | 572342.76 |
| Botar Tierra sobrante de Excavación de la Base | M ³ | | 5250.00 | 325.00 | 1706250.00 |
| Escarificado de 10cm de Profundidad de Subrasante | M ² | 10969.20m ² /h | 21000 | 338.00 | 647.08 |
| Conformación y Compactación de Subrasante | M ² | 310.00 | 21000.00 | 377.00 | 25538.71 |
| Nivelación del Material Base Granular | M ³ | 290.00 | 21000.00 | 338.00 | 24475.86 |
| Total | | | | | 2433876.42 |
| Carpeta de Rodamiento | | | | | |
| Acarreo del Concreto Hidráulico de 4000PSI | Incluido en el costo unitario del concreto | | | | |
| Carpeta de Concreto Hidráulico de 18cm de 4000 PSI con Mezcladora | M ³ | | 3780.00 | 4163.19 | 15736858.20 |
| Acarreo de Material Base Granular | M ³ | | 5250.00 | 488.00 | 2562000.00 |
| Base Granular de 25cm | M ³ | | 5250.00 | 520.00 | 2730000.00 |
| Vibrado del Concreto | ML | 150.00 | 3000.00 | 50.00 | 8000.00 |
| Formaleta de Acero | ML | | 500.00 | 41.00 | 20500.00 |
| Pines de 3/4" de 0.6m | C/U | | 100.00 | 12.00 | 1200.00 |
| Acerrados de Juntas | ML/DIA | 400.00 | 20666.67 | 280.00 | 14466.67 |
| Sellado de Juntas | ML | | 19500.00 | 4.50 | 87750.00 |
| Total | | | | | 20220394.9 |

Fuente: Elaboración Propia.

Continuación Tabla 10-1

| Costos De Materiales/M. Obra/Maquinaria (Pavimento Rígido - Alternativa I) – Construcción | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| Descripción | U/M | Rendimiento | Cantidad | Costo Unitario (C\$) | Costo Total (C\$) |
| Hombros Ambos Lados | | | | | |
| Hombros | M ³ | | 382.80 | 4163.19 | 1593669.13 |
| Cemento para Estabilización de Hombros | M ³ | | 23.00 | 270.00 | 6210.00 |
| Total | | | | | 1599879.13 |
| Obras de Drenaje | | | | | |
| Tubería Circular de 91cm de Diámetro | ML | | 18.75 | 3000.00 | 56250.00 |
| Tubería de Concreto Reforzado de 106cm de Diámetro | ML | | 78.75 | 5000.00 | 393750.00 |
| Tubería de Concreto Reforzado de 137cm de Diámetro | ML | | 28.75 | 7632.65 | 219438.69 |
| Excavación de Alcantarillas | M ³ | | 602.15 | 54.54 | 32841.26 |
| Material de Relleno de Alcantarillas | M ³ | | 646.47 | 403.00 | 260527.41 |
| Total | | | | | 962807.36 |
| Señalización Horizontal y Vertical | | | | | |
| Señalización de Postes de Kilometraje | C/U | | 6.00 | 881.20 | 5287.20 |
| Postes Guías | C/U | | 36.00 | 881.20 | 31723.20 |
| Señalización de Reglamentación de 54plg x 36plg | C/U | | 2.00 | 4431.00 | 8862.00 |
| Señales de Reglamento y de Prevención | C/U | | 31.00 | 3251.00 | 100781.00 |
| Marcas del Pavimento Continuas (Líneas Amarillas) | ML | | 1930.00 | 5.49 | 10603.42 |

Fuente: Elaboración Propia.

Continuación Tabla 10-1

| Costos De Materiales/M. Obra/Maquinaria (Pavimento Rígido - Alternativa I) – Construcción | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| Descripción | U/M | Rendimiento | Cantidad | Costo Unitario (C\$) | Costo Total (C\$) |
| Señalización Horizontal y Vertical | | | | | |
| Marcas del Pavimento Continuas (Blancas) | ML | | 6000.00 | 5.49 | 32964.00 |
| Marcas del Pavimento Discontinuas (Líneas Amarillas) | ML | | 1070.00 | 5.49 | 5878.58 |
| Total | | | | | 196099.40 |
| Costos Totales de Construcción | | | | | 26407761.18 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10-2 Resumen de Costo total del pavimento rígido utilizando base granular sin tratar.

| Concepto | Cantidad | Costo unitario C\$ | Costo total C\$ | En dólares \$ |
|-----------------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| Movimiento de tierra | 3km | 1676153.18 CS/KM | 5028459.55 | 181532.84 |
| Obras de drenaje menor | 3km | 320935.77 | 962807.36 | 34758.39 |
| Señales verticales y horizontales | 3km | 65366.47 | 196099 | 7079.4 |
| Carpeta de rodamiento+BG | 3km | 6740131.3 | 20220394.9 | 729978.12 |
| Sub Total | | 8802586.79 | 26407761.18 | 953348.75 |
| Administrativos 5% | 3km | 440129.35 | 1320388.059 | 47667.44 |
| Utilidad 13% | 3km | 1144336.32 | 3433008.95 | 123935.34 |
| Impuesto 1% | 3km | 88025.87 | 264077.61 | 9533.49 |
| Costo total Alternativa 1 | 3km | 10475078.35 | 31425235.05 | 1134485 |

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: El valor del dólar considerado es de 1\$= C\$27.7

En la actividad de movimiento de tierra están incluido los costos de actividades preliminares, construcción de hombros de ambos lados de la carretera.

Alternativa 2. Pavimento rígido utilizando base granular estabilizada con cemento portland.

Actividades preliminares

Igual como se calculó para base granular sin tratar alternativa 1

Movimientos de tierra

En esta actividad las sub-actividades correspondientes a preliminares, descapote, conformación y compactación, escarificación de sub-rasante, tendrán los mismos costos.

Excavación de la vía a 28cm de espesor

Cantidad=8904m³

Costo unitario=C\$54.54/m³

Costo total=C\$485624.16

Nivelación de base granular estabilizada

Cantidad=21000m³

Costo unitario=C\$338, el equipo utilizado tiene un rendimiento de 290m³/h

Costo total=C\$24475.8

Costo de la base granular estabilizada con cemento portland de 20cm de espesor.

Cantidad=4200m³

Costo unitario=C\$753.16/m³, utilizando un 6% de cemento con respecto al peso o volumen a estabilizar.

Costo total=C\$3163272

Carpeta de rodamiento

Los costos de esta actividad serán los mismos que en la alternativa 1 y el resto de actividades como señalización horizontal y vertical, sistemas de drenaje menor, etc.

A continuación se presenta la tabla 10-3 en la que se indica el resumen de costos por las diferentes actividades que conlleva la construcción de un pavimento rígido con base granular estabilizada.

Tabla 10-3 Resumen de costos constructivos de alternativa II utilizando base granular estabilizada.

| Costos De Materiales/M. Obra/Maquinaria (Pavimento Rígido - Alternativa li) – Construcción | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| Descripción | U/M | Rendimiento | Cantidad | Costo Unitario (C\$) | Costo Total (C\$) |
| Preliminares | | | | | |
| Limpieza Inicial | M ² | | 31800 | 1.28 | 40704 |
| Trazo y Nivelación | M ² | | 31800 | 30 | 954000 |
| Total | | | | | 994704 |
| Movimiento de Tierras | | | | | |
| Descapote de 10cm | M ³ | | 3180.00 | 32.90 | 104622 |
| Excavación de la Vía con espesor de 28cm | M ³ | | 8904.00 | 54.54 | 485624.16 |
| Botar Tierra sobrante de Excavación de la Base | M ³ | 14 | 4200.00 | 325.00 | 780000 |
| Escarificado de 10cm de Profundidad de Subrasante | M ² | 10969.20 | 21000.00 | 338.00 | 647.08 |
| Conformación y Compactación de Subrasante | M ² | 310.00 | 21000.00 | 377.00 | 25538.7 |
| Nivelación del Material Base Granular | M ³ | 290.00 | 21000.00 | 338.00 | 24475.8 |
| Base granular estabilizada con cemento de 20cm de espesor | M ³ | | 4200 | 753.16 | 3163272 |
| Total | | | | | 5578883.74 |

Fuente: Elaboración Propia.

Continuación de tabla10-3

| Costos De Materiales/M. Obra/Maquinaria (Pavimento Rígido - Alternativa li) – Construcción | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------|----------|----------------------|-------------------|
| Descripción | U/M | Rendimiento | Cantidad | Costo Unitario (C\$) | Costo Total (C\$) |
| Carpeta de Rodamiento | | | | | |
| Acarreo del Concreto Hidráulico de 4000PSI | M ³ | Incluido en el costo unitario del concreto | | | |
| Carpeta de Concreto Hidráulico de 18cm de 4000 PSI con Mezcladora | M ³ | | 3780.00 | 4163.19 | 15736858.2 |
| Acarreo de Material Base Granular | M ³ | | 4200.00 | 488.00 | 2049600.00 |
| Vibrado del Concreto | ML | 150.00 | 3000.00 | 50.00 | 8000.00 |
| Formaleta de Acero | ML | | 500.00 | 41.00 | 20500.00 |
| Pines de 3/4" de 0.6m | C/U | | 100.00 | 12.00 | 1200.00 |
| Acerrados de Juntas | ML/DIA | 400.00 | 20666.67 | 280.00 | 14466.67 |
| Sellado de Juntas | ML | | 19500.00 | 4.50 | 87750.00 |
| Total | | | | | 17918374.9 |
| Hombros a Ambos Lados | | | | | |
| Hombros | M ³ | | 382.80 | 4163.19 | 1593669.1 |
| Cemento para Estabilización de Hombros | M ³ | | 23.00 | 270.00 | 6210.00 |
| Total | | | | | 1599879.13 |
| Obras de Drenaje | | | | | |
| Tubería Circular de 91cm de Diámetro | ML | | 18.75 | 3000.00 | 56250.00 |
| Tubería de Concreto Reforzado de 106cm de Diámetro | ML | | 78.75 | 5000.00 | 393750.00 |
| Tubería de Concreto Reforzado de 137cm de Diámetro | ML | | 28.75 | 7632.65 | 219438.69 |
| Excavación de Alcantarillas | M ³ | | 602.15 | 54.54 | 32841.26 |
| Material de Relleno de Alcantarillas | M ³ | | 646.47 | 403.00 | 260527.41 |
| Total | | | | | 962807.36 |

Fuente: Elaboración Propia.

Continuación de tabla 10-3

| Costos De Materiales/M. Obra/Maquinaria (Pavimento Rígido - Alternativa li) – Construcción | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|--------------|----------------------------|----------------------|
| Descripción | U/M | Rendimiento | Cantida d | Costo Unitario (C\$) | Costo Total (C\$) |
| Señalización Horizontal y Vertical | | | | | |
| Señalización de Postes de Kilometraje | C/U | | 6.00 | 881.20 | 5287.20 |
| Postes Guías | C/U | | 36.00 | 881.20 | 31723.20 |
| Señalización de Reglamentación de 54plg x 36plg | C/U | | 2.00 | 4431.00 | 8862.00 |
| Señales de Reglamento y de Prevención | C/U | | 31.00 | 3251.00 | 100781.00 |
| Marcas del Pavimento Continuas (Líneas Amarillas) | ML | | 1930.00 | 5.49 | 10603.42 |
| Marcas del Pavimento Continuas (Blancas) | ML | | 6000.00 | 5.49 | 32964.00 |
| Marcas del Pavimento Discontinuas (Líneas Amarillas) | ML | | 1070.00 | 5.49 | 5878.58 |
| Total | | | | | 196099.40 |
| Costos Totales de Construcción | | | | | 27250748.53 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10-4 Resumen de costos totales del pavimento rígido utilizando base granular estabilizada.

| Concepto | Cantidad | Costo unitario C\$/km | Costo total C\$ | En dólares \$ |
|-----------------------------------|----------|-----------------------|-----------------|---------------|
| Movimiento de tierra | 3km | 2724488.96 | 8173466.87 | 295071 |
| Obras de drenaje menor | 3km | 320935.77 | 962807.36 | 34758.39 |
| Señales verticales y horizontales | 3km | 65366.47 | 196099 | 7079.4 |
| Carpeta de rodamiento+BG | 3km | 5972791.63 | 17918374.9 | 646872.74 |
| Sub Total | | 9083582.79 | 27250748.38 | 983781.53 |
| Administrativos 5% | 3km | 454179.14 | 1362537.42 | 49189.08 |
| Utilidad 13% | 3km | 1180865.76 | 3542297.29 | 127891.6 |
| Impuesto 1% | 3km | 90835.83 | 272507.48 | 9837.82 |
| Costo total Alternativa 2 | 3km | 10809463.61 | 32428390.83 | 1170700.03 |

Fuente: Elaboración Propia.

El costo total del pavimento rígido utilizando base granular estabilizada tendrá un costo de=\$1170700.03, (Un millón ciento setenta mil setecientos con tres centavos de dólar)

Costos constructivos del pavimento Flexible

Alternativa 1 Pavimento flexible utilizando base granular sin tratar

Los datos de la carretera serán los mismos que los indicados al inicio del capítulo con los que se calcularon los costos en el pavimento rígido variando las actividades constructivas que se detallan a continuación.

Las actividades preliminares, obras de drenaje menor, señalización vertical y horizontal serán los mismos indicados en las tablas 10-3.

Movimiento de tierra

Descapote

Igual costo que el indicado al inicio para el pavimento rígido.

-Excavación de la vía

La profundidad total a excavar es de 65cm pero como se realiza el descapote a 10cm para remover capa vegetal, la estructura a excavar será de 55cm.

Cantidad=11550m³

Costo unitario=C\$54.54

Costo total=C\$629937

-Botar tierra sobrante de la excavación

Cantidad=6300m³

Costo unitario=C\$325

Costo total=C\$2047500

Acarreo de material sobrante de sub-rasante, sub-base y base

Cantidad=11550m³

Costo unitario=C\$488

Costo total= (11550) (488)= C\$5636400

-Mejoramiento

El mejoramiento consistirá en colocar una capa de 15cm de material selecto

Cantidad=3150m³

Costo unitario=C\$280/m³

Costo total=C\$882000

-Costo de sub-base

Se colocaran 20cm de material granular para sub-base

Cantidad=4200m³

Costo unitario de material de sub-base=C\$415.5/m³

Costo total=C\$1745100

-Costo de base granular sin tratar

La base granular que se colocara tendrá un espesor de 20cm

Cantidad=4200m³

Costo unitario=C\$554/m³

Costo total=C\$2326800

-Nivelación de los materiales de sub-rasante, sub-base y base

Cantidad a nivelar=21000m²

Costo unitario=C\$338/m², la maquinaria de referencia tiene un rendimiento de C\$290/m²

Costo total=C\$73427.58

Carpeta de rodamiento asfáltica

Cantidad=2100m³

Costo unitario=C\$1926.47/m³

Costo total=C\$4045587.00

Liga asfáltica

Antes de proceder al colocado del pavimento asfáltico, es necesario colocar un ligante asfáltico para sellar los poros de la base, este será del tipo emulsión CRS-2P, la cual tiene un costo de:

Rastrilleros (Regadores del concreto asfáltico)

Cantidad=398.73, Costo unitario=C\$33.83

Costo total=C\$8880

-Combustible

El costo del combustible por galón es de 90.84 córdobas.

Se necesitarán 398.73 galones para realizar la tarea de pavimentación

Costo total=C\$36220.63

-Camión asfaltador

El Compactador neumático tiene un costo unitario de 989.76 córdobas por hora.

Rendimiento 60m³/h modelo RM300

Costo total= (35) (842)=C\$29470

En la tabla 10-5 y la tabla 10-6 se resumen los costos por actividades requeridas en la pavimentación asfáltica.

Tabla 10-5 Costos constructivos del pavimento flexible utilizando base granular sin tratar.

| Costos De Materiales/M. Obra/Maquinaria (Pavimento Flexible - Alternativa I) | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| Descripción | U/M | Rendimiento | Cantidad | Costo Unitario (C\$) | Costo Total (C\$) |
| Preliminares | | | | | |
| Limpieza Inicial | M ² | | 31800 | 1.28 | 40704 |
| Trazo y Nivelación | M ² | | 31800 | 30 | 954000 |
| Total | | | | | 994704 |
| Movimiento de Tierras | | | | | |
| Descapote de 10cm | M ³ | | 3180.00 | 32.90 | 104622 |
| Excavación de la Vía con espesor de 55cm | M ³ | | 11550 | 54.54 | 629937 |
| Botar Tierra sobrante de Excavación del Descapote y de la Base | M ³ | | 6300 | 325 | 2047500 |
| Acarreo del Material de Subrasante, Subbase y Base | M ³ | | 11550 | 488 | 5636400 |
| Mejoramiento de Subrasante de 15cm | M ³ | | 3150 | 280 | 882000 |
| Subbase de 20cm | M ³ | | 4200 | 415.5 | 1745100 |
| Base Granular de 20cm | M ³ | | 4200 | 554 | 2326800 |
| Nivelación de los Materiales de Subrasante, Subbase y Base | M ³ | 290.00 | 21000.00 | 338.00 | 73427.58 |
| Total | | | | | 13445786.59 |
| Carpeta de Rodamiento | | | | | |
| Mezcla Asfáltica | M ³ | | 2100.00 | 1926.47 | 4045587.00 |
| Emulsión CRS-2P | Gal | | 262.50 | 33.83 | 8880.38 |
| Combustible | Gal | | 398.73 | 90.84 | 36220.63 |
| Herramientas | GLB | | 1.00 | 4500.00 | 4500.00 |
| Total | | | | | 4095188.01 |

Fuente: Elaboración Propia.

Continuación Tabla 10-5

| Costos De Materiales/M. Obra/Maquinaria (Pavimento Flexible - Alternativa I) | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------|
| Descripción | U/M | Rendimiento | Cantidad | Costo Unitario (C\$) | Costo Total (C\$) |
| Obras de Drenaje | | | | | |
| Tubería Circular de 91cm de Diámetro | ML | | 18.75 | 3000.00 | 56250.00 |
| Tubería de Concreto Reforzado de 106cm de Diámetro | ML | | 78.75 | 5000.00 | 393750.00 |
| Tubería de Concreto Reforzado de 137cm de Diámetro | ML | | 28.75 | 7632.65 | 219438.69 |
| Excavación de Alcantarillas | M³ | | 602.15 | 54.54 | 32841.26 |
| Material de Relleno de Alcantarillas | M³ | | 646.47 | 403.00 | 260527.41 |
| Total | | | | | 962807.36 |
| Señalización Horizontal y Vertical | | | | | |
| Señalización de Postes de Kilometraje | C/U | | 6.00 | 881.20 | 5287.20 |
| Postes Guías | C/U | | 36.00 | 881.20 | 31723.20 |
| Señalización de Reglamentación de 54plg x 36plg | C/U | | 2.00 | 4431.00 | 8862.00 |
| Señales de Reglamento y de Prevención | C/U | | 31.00 | 3251.00 | 100781.00 |
| Marcas del Pavimento Continuas (Líneas Amarillas) | ML | | 1930.00 | 5.49 | 10603.42 |
| Marcas del Pavimento Continuas (Blancas) | ML | | 6000.00 | 5.49 | 32964.00 |
| Marcas del Pavimento Discontinuas (Líneas Amarillas) | ML | | 1070.00 | 5.49 | 5878.58 |
| Total | | | | | 196099.40 |
| Costos Totales de Construcción | | | | | 19694585.35 |

Tabla 10-6 Resumen de costos totales por construcción de pavimento flexible con base granular sin tratar

| Concepto | Cantidad KM | Costo unitario C\$/km | Costo total C\$ | En dólares \$ |
|-------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------------|------------------|
| Movimiento de tierra + preliminares | 3 | 4813496.86 | 14440490.59 | 521317.35 |
| Obras de drenaje menor | 3 | 320935.77 | 962807.36 | 34758.39 |
| Señales verticales y horizontales | 3 | 65366.47 | 196099 | 7079.4 |
| Carpeta de rodamiento | 3 | 1365062.67 | 4095188.01 | 147840.72 |
| Sub Total | 3 | 6564861.77 | 19694585.32 | 710995.86 |
| Administrativos 5% | 3 | 328243.09 | 984729.27 | 35549.79 |
| Utilidad 13% | 3 | 853432.03 | 2560296.09 | 92429.46 |
| Impuesto 1% | 3 | 65648.62 | 196945.85 | 7109.96 |
| Costo total | 3 | 7812182.43 | 23436547.3 | 846084.74 |

Fuente: Elaboración Propia.

El costo total del pavimento flexible utilizando base granular sin tratar tendrá un costo de=\$846084.74, (Ochocientos cuarenta y seis mil ochenta y cuatro con setenta y cuatro centavos.)

-Alternativa II pavimento flexible utilizando base granular estabilizada con cemento portland.

a) Actividades preliminares

Las subactividades de esta etapa tendrán los mismos costos detallados para el pavimento rígido anteriormente.

-Movimientos de tierra

Descapote

Igual como se calculó al inicio para el pavimento rígido.

a) Excavación de la vía

La estructura tendrá un espesor total de 53cm, pero de estos se remueven 10cm de la capa vegetal realizado como descapote, por lo que la excavación se realizara a 43cm.

Cantidad a excavar=9030m³

Costo unitario=C\$54.54

Costo total=C\$492496.2

b) Botar tierra sobrante de excavación del descapote y de la base

Cantidad=7350m³

Costo unitario=C\$325/m³

Costo total=C\$2388750

Acarreo de material sobrante de sub-base y base a una distancia de 1km

Cantidad=9030m³

Costo unitario=C\$488/m³

Costo total=C\$4406640

c) Escarificación y compactación de 10cm de profundidad de la sub-rasante

Cantidad=21000m²

Costo unitario=C\$338/m², el equipo que se utilizara tiene un rendimiento de 10969.2m²/hora por lo que realizando esta actividad tendrá un costo de 647.08 córdobas.

d) Colocación de subbase granular con espesor de 18cm

Cantidad=3780m³

Costo unitario=C\$415.5/m³, este costo incluye equipo y operario

Costo total=C\$1570590

-Base granular de 20cm estabilizada con cemento portland utilizando el 6% en peso o volumen de material.

Cantidad=4200m³

Costo unitario=C\$554/m³, estos costos incluyen el costo del cemento, estos datos son tomados de la memoria de costos del Nuevo FISE 2015

Costo total=C\$2326800

La carpeta de rodamiento tendrá los mismos costos como se calculó para pavimento flexible utilizando base granular.

Continuación se muestran los costos por cada actividad requeridos para la construcción de pavimento flexible utilizando base granular estabilizada.

Tabla 10-7 Resumen de costos por actividades del pavimento flexible utilizando base granular estabilizada con espesor de 20cm.

| Costos De Materiales/M. Obra/Maquinaria (Pavimento Flexible - Alternativa II) | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------|----------|----------------------|-------------------|
| Descripción | U/M | Rendimiento | Cantidad | Costo Unitario (C\$) | Costo Total (C\$) |
| Preliminares | | | | | |
| Limpieza Inicial | M ² | | 31800 | 1.28 | 40704 |
| Trazo y Nivelación | M ² | | 31800 | 30 | 954000 |
| Total | | | | | 994704 |
| Movimiento de Tierras | | | | | |
| Descapote de 10cm | M ³ | | 3180.00 | 32.90 | 104622 |
| Excavación de la Vía con espesor de 43cm | M ³ | | 9030 | 54.54 | 492496.2 |
| Botar Tierra sobrante de Excavación del Descapote y de la Base | M ³ | | 7350 | 325 | 2388750 |
| Acarreo del Material de Sub-base y Base | M ³ | | 9030 | 488 | 4406640 |
| Escarificado de 10cm de Profundidad de Sub-rasante | M ³ | 10969.20 | 21000.00 | 338.00 | 647.08 |
| Sub-base de 18cm | M ³ | | 3780 | 415.5 | 1570590 |
| Base Granular de 20cm estabilizada con cemento | M ³ | | 4200 | 554 | 2326800 |
| Nivelación de los Materiales de Sub-rasante, Sub-base y Base | M ³ | 290.00 | 21000.00 | 338.00 | 73427.58621 |
| Total | | | | | 11363972.87 |
| Carpeta de Rodamiento | | | | | |
| Mezcla Asfáltica | M ³ | | 2100.00 | 1926.47 | 4045587.00 |
| Emulsión CRS-2P, como liga | Gal | | 262.50 | 33.83 | 8880.38 |
| Combustible | Gal | | 398.73 | 90.84 | 36220.63 |
| Rastrilleros | GLB | | 1.00 | 4500.00 | 4500.00 |
| Total | | | | | 4095188.01 |

Fuente: Elaboración Propia.

Continuación Tabla 10-7

| Costos De Materiales/M. Obra/Maquinaria (Pavimento Flexible - Alternativa II) | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------|
| Descripción | U/M | Rendimiento | Cantidad | Costo Unitario (C\$) | Costo Total (C\$) |
| Obras de Drenaje | | | | | |
| Tubería Circular de 91cm de Diámetro | ML | | 18.75 | 3000.00 | 56250.00 |
| Tubería de Concreto Reforzado de 106cm de Diámetro | ML | | 78.75 | 5000.00 | 393750.00 |
| Tubería de Concreto Reforzado de 137cm de Diámetro | ML | | 28.75 | 7632.65 | 219438.69 |
| Excavación de Alcantarillas | M³ | | 602.15 | 54.54 | 32841.26 |
| Material de Relleno de Alcantarillas | M³ | | 646.47 | 403.00 | 260527.41 |
| Total | | | | | 962807.36 |
| Señalización Horizontal y Vertical | | | | | |
| Señalización de Postes de Kilometraje | C/U | | 6.00 | 881.20 | 5287.20 |
| Postes Guías | C/U | | 36.00 | 881.20 | 31723.20 |
| Señalización de Reglamentación de 54plg x 36plg | C/U | | 2.00 | 4431.00 | 8862.00 |
| Señales de Reglamento y de Prevención | C/U | | 31.00 | 3251.00 | 100781.00 |
| Marcas del Pavimento Continuas (Líneas Amarillas) | ML | | 1930.00 | 5.49 | 10603.42 |
| Marcas del Pavimento Continuas (Blancas) | ML | | 6000.00 | 5.49 | 32964.00 |
| Marcas del Pavimento Discontinuas (Líneas Amarillas) | ML | | 1070.00 | 5.49 | 5878.58 |
| Total | | | | | 196099.40 |
| Costos Totales de Construcción | | | | | 17612771.64 |

Tabla 10-8 Resumen de costos totales por construcción de pavimento flexible con base granular estabilizada con cemento portland.

| Concepto | Cantidad KM | Costo unitario C\$/km | Costo total C\$ | En dólares \$ |
|-----------------------------------|-------------|-----------------------|-----------------|---------------|
| Movimiento de tierra+preliminares | 3 | 4119558.96 | 12358676.87 | 446161.62 |
| Obras de drenaje menor | 3 | 320935.77 | 962807.36 | 34758.39 |
| Señales verticales y horizontales | 3 | 65366.47 | 196099 | 7079.4 |
| Carpeta de rodamiento | 3 | 1365062.67 | 4095188.01 | 147840.72 |
| Sub Total | | 5870923.87 | 17612771.6 | 635840.13 |
| Administrativos 5% | 3 | 293546.19 | 880638.58 | 31792 |
| Utilidad 13% | 3 | 763220.103 | 2289660.31 | 82659.22 |
| Impuesto 1% | 3 | 58709.24 | 176127.72 | 6358.4 |
| Costo total | 3 | 6986399.36 | 20959198.08 | 756649.75 |

Fuente: Elaboración Propia.

Capítulo XI

11. Análisis técnico-económico del uso de pavimento rígido y pavimento flexible

11-1 Análisis técnico comparativo.

Desde principios del siglo XX los pavimentos han experimentado una evolución tecnológica continua impulsada por la necesidad de proveer vías de transporte eficientes. Durante este desarrollo el dilema de elegir entre un pavimento rígido o flexible ha sido materia de discusiones técnicas basadas en argumentos que también han evolucionado con el tiempo debido a la aparición de nuevos materiales, enfoques distintos en el diseño de pavimentos, y la implementación de técnicas constructivas más eficientes.

En esta evolución tecnológica hay argumentos que en la actualidad solo pueden sostenerse dentro de un determinado contexto pasando a ser mitos y no realidades.

Esta comparación presenta una perspectiva abierta con la intención de incentivar un diálogo proactivo que conduzca al diseño, construcción, y mantenimiento de pavimentos que tengan un desempeño superior y que sea concordante con los conocimientos técnicos modernos.

Es conveniente recordar que el pavimento es una estructura sometida a cargas externas de tráfico y clima que generan esfuerzos y deformaciones internas en las capas que lo componen. El tipo de estructura de pavimento a emplear depende de la función a desempeñar y de los factores que los afectan durante el período de servicio para el cual se diseña.

Entre estos factores, además del tráfico y el clima, se encuentran las propiedades de los materiales que conforman las capas del pavimento.

El desempeño del pavimento está íntimamente ligado al comportamiento de los materiales que lo componen ante la acción de las cargas externas. Independientemente del tipo de pavimento, una adecuada respuesta estructural y funcional del pavimento depende de la calidad de los materiales, un proceso constructivo responsable, y un programa de mantenimiento oportuno. En lo que respecta al diseño de pavimentos, es fundamental efectuar el análisis estructural y funcional empleando modelos que representen en forma realista los efectos en el desempeño de la estructura de pavimento ante las sollicitaciones de carga.

Con este propósito, es recomendable utilizar métodos mecánicos de diseño de pavimentos debidamente calibrados a las condiciones locales.

Estos métodos, como por ejemplo el AASHTO 1993, simulan el efecto del medio ambiente en la estructura del pavimento como son los cambios de temperatura y humedad y las cargas de tráfico actuantes, considerando su impacto en los niveles de serviciabilidad y la probabilidad de aparición de fallas en el pavimento.

Con el uso de modelos de desempeño integrados, se puede proyectar la condición del pavimento a lo largo de su vida en servicio, verificando si los niveles de tolerancia que son cumplidos satisfactoriamente.

La estructura de pavimento que satisface los niveles de tolerancia estructural y funcional es seleccionada como una alternativa técnica viable. En un enfoque integral de diseño de pavimentos se consideran objetivos múltiples, definiendo los niveles de aceptación para cada uno de los parámetros que intervienen en el proceso de acuerdo al grado de importancia que se les asigne.

Entre estos objetivos se encuentran: brindar una adecuada serviciabilidad o comodidad a los usuarios que transitan por el pavimento, la durabilidad de la estructura de pavimento en el tiempo, confiabilidad en que el pavimento se comporte como ha sido diseñado, seguridad ante el tránsito de los vehículos al brindar una buena fricción entre los neumáticos de los vehículos y la superficie de rodadura, amistoso al medio ambiente, y el minimizar los costos de construcción y mantenimiento durante su vida en servicio.

Sin embargo, ¿será posible satisfacer estos objetivos múltiples y criterios de diseño en forma simultánea? Bajo esta perspectiva procedemos a comparar los pavimentos rígidos con los flexibles.

❖ **Período de Diseño y Durabilidad.**

Tradicionalmente los períodos de diseño para los pavimentos flexibles son menores que para los pavimentos rígidos. Por ejemplo la mayoría de los manuales de diseño de carreteras recomiendan períodos de diseño de 10 a 20 años para pavimentos asfálticos (pavimentos flexibles) y de un mínimo de 20 años para pavimentos de concreto de hidráulico (pavimento rígido).

Esta recomendación refleja la percepción de que los pavimentos rígidos tienen una vida más larga que los flexibles. Sin embargo, es posible diseñar pavimentos rígidos para 10 años.

Restringir el uso de los pavimentos rígidos solo para proyectos con una vida en servicio de 20 años o más reduce aplicaciones que en la práctica son viables, como por ejemplo en los pavimentos urbanos en donde la alternativa de pavimentos de concreto es una posibilidad.

Por otro lado, es posible tener pavimentos flexibles diseñados para períodos de vida mayores a los 20 años, puesto que existen en la actualidad asfaltos de calidades superiores o modificadas, y con un adecuado diseño al margen del tema de costos pueden diseñarse pavimentos flexibles más longevos.

Es un mito definir el tipo de pavimento basado solamente en el período de diseño puesto que el avance tecnológico en los materiales y metodologías actuales permiten realizar diseños de pavimentos flexibles o rígidos para el período en servicio que se desee.

❖ **Desempeño Estructural y Transmisión de Esfuerzos.**

Los pavimentos flexibles están compuestos por múltiples capas en donde los esfuerzos transmitidos por las cargas actuantes son distribuidos en forma gradual a través de la estructura del pavimento. Todas las capas que componen la estructura del pavimento flexible cumplen una función estructural.

En el caso de los pavimentos rígidos, es la losa de concreto la que trabaja estructuralmente y absorbe los esfuerzos producidos por las cargas actuantes. La losa puede inclusive colocarse directamente sobre la subrasante si ésta está compuesta por un suelo de buena calidad, sino se coloca una base granular que brinde una superficie uniforme sobre la cual apoyar la losa.

Es una realidad que los pavimentos flexibles y los rígidos tienen un comportamiento estructural distinto debido a las propiedades de los materiales que los componen.

❖ **Tipos de Fallas.**

Los pavimentos flexibles presentan fallas por fatiga o por deformación de la subrasante u otra de las capas que la componen. Las fallas por fatiga se observen como fisuras longitudinales en la huella del neumático y con el tiempo de no ser debidamente tratadas se convierten en fallas tipo piel de cocodrilo. La deformación causada por deformaciones plásticas acumuladas no recuperables durante la acción cíclica de las cargas se manifiesta como ahuellamiento.

En el caso de los pavimentos rígidos las fallas típicas son por fatiga cuando los esfuerzos actuantes superan la resistencia de la losa de concreto y se presentan fisuras, o por bombeo de finos de la capa inferior donde se apoya la losa que con el tiempo se manifiesta como desniveles. Es una realidad que los pavimentos flexibles y los rígidos tienen mecanismos de falla distintos puesto que su respuesta ante la acción de las cargas actuantes es distinta.

❖ **Serviciabilidad**

El grado de comodidad que el pavimento brinda al usuario es un aspecto de gran importancia. Existen diferentes maneras para analizar y cuantificar el nivel de servicio. Un parámetro usado en el Manual de Diseño AASHTO 1993 es el Índice de Servicio (Present Serviciability Index – PSI), que establece una escala subjetiva de calificación de 0 a 5, siendo 5 la condición calificada como excelente.

Otro indicador más objetivo es el Índice de Rugosidad Internacional (International Roughness Index - IRI) que es adoptado por el AASHTO 2008. Como referencia los pavimentos nuevos tienen valores de IRI de 2.0 m/Km, mientras que durante la vida en servicio puede incrementarse hasta un IRI de 3.5 m/Km.

Debido al tipo de acabado o por falta de mantenimiento hay la percepción que los pavimentos flexibles brindan mayor comodidad al usuario que los pavimentos rígidos, sobre todo cuando se comparan con pavimentos rígidos con juntas en donde desniveles mínimos entre las losas se manifestarían como una mayor irregularidad o incremento en el valor de IRI.

Un adecuado proceso constructivo y mantenimiento oportuno durante la vida en servicio permite que ambos pavimentos puedan brindar un mismo nivel de serviciabilidad. Es un mito que el tipo de pavimento defina el nivel de serviciabilidad. Más aún, el parámetro de serviciabilidad se emplea para definir a los pavimentos equivalentes que son aquellos que brindan el mismo nivel de servicio durante su vida útil para las acciones de carga a los cuales están sometidos.

❖ **Efectos del Medio Ambiente sobre los pavimentos:**

Ambos pavimentos flexibles y rígidos están sometidos y son afectados por el medio ambiente. En el caso de los pavimentos flexibles, el asfalto es un material termo-plástico que cambia sus propiedades de viscosidad y resistencia de acuerdo a las temperaturas y está sujeto al fenómeno de oxidación durante su vida útil.

Con el paso del tiempo, el pavimento flexible es más sensible al fisuramiento, así mismo en climas fríos tiende a “rigidizarse” y pueden aparecer fisuras transversales debido a cambios en el gradiente térmico, mientras que en climas cálidos es más blando con tendencia a ahuellarse ante la acción del tráfico.

El pavimento rígido es también afectado por el medio ambiente y cambios de temperatura generan problemas de alabeo y esfuerzos de contracción, que al superar la resistencia del concreto se manifiestan fisuras y problemas de transferencia de carga entre losas. Sin embargo, la percepción es que en términos

generales, el pavimento rígido de concreto hidráulico es menos sensible a los cambios medio ambientales.

En la actualidad hay una gran preocupación por el empleo de materiales y técnicas constructivas que mitiguen el impacto medio ambiental.

En este sentido, los pavimentos de concreto hidráulico son considerados como “pavimentos sostenibles” que reaccionan mejor ante los cambios climáticos y contribuyen a mitigar el calentamiento global al tener un albedo más alto o capacidad mayor para reflejar la luz, reducen la contaminación ambiental por una emisión de gases CO₂ menor durante la producción y colocación y ahorran energía.

Es una realidad que el pavimento rígido, en términos generales, es menos sensible a los efectos medio ambientales y se consideran más ecológicos. Sin embargo, es un mito que con los materiales bituminosos actualmente disponibles y las nuevas técnicas de construcción, los pavimentos flexibles no puedan diseñarse considerando los efectos medio ambientales.

La elección del tipo de asfalto adecuado a las condiciones climáticas actuantes y la clasificación del asfalto basada en el desempeño PG (Performance Grade); y el uso de mezclas asfálticas en frío o en tibio, mezclas asfálticas porosas, e inclusive asfaltos de colores son opciones para el diseño de pavimentos flexibles sostenibles.

Seguridad.

El pavimento debe proveer una superficie de rodadura con la suficiente fricción al contacto con los neumáticos que evite la pérdida de control del vehículo por deslizamiento, especialmente cuando la superficie está húmeda.

Un indicador empleado para medir este factor es el índice de deslizamiento, el cual se obtiene multiplicando el coeficiente de fricción por 100, y puede ser medido con el procedimiento descrito en la norma ASTM E 274. El Manual Peruano 2014 de Carreteras, Suelos, Geotecnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimentos presenta el siguiente cuadro con valores admisibles para el coeficiente de fricción.

Tabla 11-1 Textura Superficial de Pavimentos Asfálticos

| Textura Superficial de Pavimentos Asfálticos | | | | |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| | Superficie de Rodadura (Tratamiento Superficial) | | Superficie de Rodadura de Mezcla Asfáltica | |
| Textura Superficial | Textura (mm) | Coefficiente de Fricción (SCRIM a 50km/hr) | Textura (mm) | Coefficiente de Fricción (SCRIM a 50km/hr) |
| Buena | 1.5 | 0.6 | 0.7 | 0.5 |
| Regular | 0.7 | 0.45 | 0.5 | 0.4 |
| Mala (Superficie Resbaladiza) | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |

Fuente: (Conroy, 2014).

En situación similar a la serviciabilidad, hay la percepción que un tipo de pavimento brinda mayor seguridad que otro. Este es un mito, la realidad es que la seguridad depende del tipo de textura de la superficie de rodadura del pavimento y que con una técnica constructiva adecuada ambos pavimentos pueden satisfacer las exigencias de seguridad.

Costos.

Los costos son muy importantes al momento de seleccionar el tipo de pavimento. Considerando un enfoque integral, el análisis debe incluir todos los costos de inversión durante el ciclo de vida del pavimento: costos de construcción, costos de manteniendo, costo de rehabilitación y valor remanente.

Estos costos se utilizan en el análisis económico para estimar: relaciones beneficio/costo, calcular Tasas Internas de Retorno (TIR), y el Valor Presente (VP). En análisis complementarios se incluyen también los costos de operación vehicular, costos de tiempo de transporte, y costos de accidentes.

Tradicionalmente se tiene la percepción que los costos de los pavimentos flexibles son menores que los de pavimentos rígidos, especialmente los costos de construcción iniciales; mientras que los costos de mantenimiento son mayores comparados con los de un pavimento rígido.

La realidad es que los costos dependen de las características del proyecto, período de diseño, y condiciones del mercado. Inclusive a nivel de costo inicial, hay épocas en que el asfalto ha subido de sustancialmente precio que la diferencia en costo con los pavimentos rígidos de concreto hidráulico puede ser no significativa.

Otro mito es que los pavimentos rígidos de concreto no pueden entrar en servicio hasta después de 7 o 14 días por temas de fraguado y curado, la realidad es que existe el concreto tipo “fast track” o de “fraguado rápido” que permiten que el pavimento entre en servicio a las 24 horas.

Es por eso, que en los Estados Unidos de América varios Departamentos de Transportes están incluyendo diseños equivalentes de pavimentos rígidos y flexibles en los expedientes de licitación pública. Entre los Estados que están empleando esta modalidad se encuentran: Carolina del Sur, California, Colorado, Louisiana, Pennsylvania, Washington y más recientemente Texas.

La implementación de esta modalidad de licitación ha llevado a un ahorro sustancial en los costos de construcción y mantenimiento de pavimentos, y ha mejorado el desempeño a lo largo de su vida útil.

Conclusiones del análisis técnico.

Los pavimentos deben diseñarse para las propiedades de subrasante, condiciones de tráfico, efectos medio ambientales a los que estará sometido durante su vida en servicio. Las propiedades de los materiales, técnicas de construcción, y políticas de mantenimiento afectan el desempeño del pavimento.

El estado del arte actual tiene por objetivo un desempeño integral del pavimento considerando aspectos funcionales y estructurales. Los criterios de desempeño y niveles de tolerancia considerados como aceptables son establecidos por el diseñador en coordinación con la agencia de transportes responsable de la red vial. Aplicando una filosofía que enfatiza un desempeño integral, la elección del tipo de pavimento depende de un análisis costo-beneficio de las alternativas planteadas.

Técnicamente, con el avance tecnológico en los materiales bituminosos y de concreto, así como de métodos constructivos más eficientes, la realidad es que ambos tipos de pavimento rígido y flexible pueden satisfacer los niveles de servicio exigidos. En los casos en que la diferencia en costos totales en términos de valor presente es mínima, se recomienda incorporar diseños alternativos de pavimentos rígido y flexible en los expedientes técnicos y que la definición se realice en el proceso de licitación.

11-2 Análisis económico comparativo

El análisis económico tiene por objeto el estudio de la evolución de los resultados y la rentabilidad de los capitales empleados, para conocer la rentabilidad de una alternativa con respecto a otra se procede a conocer la rentabilidad global, rentabilidad financiera y la rentabilidad del capital

$$\text{Rentabilidad global} = \frac{\text{Beneficio Neto}}{\text{Recursos Totales}} \quad \text{ecuación 11-2-1}$$

$$\text{Rentabilidad Financiera} = \frac{\text{Beneficio Neto} + \text{Gastos Financieros}}{\text{Recursos Totales}} \quad \text{ecuación 11-2-2}$$

$$\text{Rentabilidad del Capital} = \frac{\text{Beneficio Neto}}{\text{Capital Social}} \quad \text{ecuación 11-2-3}$$

En el proceso de inversión podemos establecer 2 tipos de flujos: Flujo Real y Flujo Financiero.

Flujo Real: Representado por una empresa de bienes reales (es el denominado objeto de la inversión), que aplicados al proceso productivo de la empresa producirán una salida de bienes al mercado.

Flujo Financiero: Representado por la salida de bienes financieros que genera la adquisición del objeto de la inversión y por la entrada de bienes financieros generados por la venta al mercado de los bienes producidos.

Generalmente se realizan los siguientes pasos para la comparación de alternativas económicas de inversión:

- Definir el conjunto de alternativas mutuamente exclusivas y económicamente factibles.
- Definir el horizonte de planificación que se aplicara en el análisis económico.
- Obtener los perfiles de flujo de efectivo para cada alternativa.
- Especificar el valor del dinero en el tiempo que se va a utilizar.
- Comparar las alternativas y elegir la mejor.**

La primera significa que la suma del monto de las propuestas que la integran no superan las restricciones presupuestarias, la alternativa que se selecciones puede estar compuesta por varias propuestas de inversión, propuesta de inversión es un proyecto de inversión, alternativa de inversión son opciones de decisión.

-Métodos para comparar alternativas

Generalmente los métodos utilizados para conocer la alternativa más atractiva, son: el método del VPN (Valor Presente Neto), Valor Futuro (VF), y el método de la tasa interna de retorno (TIR).

A estos se les llama indicadores de rentabilidad los cuales nos dan una idea de la conveniencia o rentabilidad de un proyecto. Se utilizan para apoyar la toma de decisión de ejecutar o no un proyecto de inversión, ya sea pública o privada.

Valor Presente Neto (VPN): Es un método practico porque los gastos o entradas futuras se transforman en unidades monetarias del tipo equivalente actual considerado en el presente, lo cual permite observar una ventaja económica de una alternativa sobre otra.

Como calcular el VPN: se debe conocer el consto inicial de la alternativa que se desee comparar, los costos de operación y mantenimientos, el valor de salvamento del pavimento al final del periodo de diseño y la vida útil esperada y la tasa de interés global del estado para el mantenimiento del valor inicial generalmente se suelo usar una tasa de interés del 12%. Posteriormente se calcula el VPN para cada alternativa a través de la siguiente ecuación.

$$VPN= -CI- COM (P/A, i, n) + VS (P/F, i, n) \quad \text{ecuación 11-2-4}$$

También se puede utilizar la ecuación

$$VPN=-CI-\frac{COSTO DE CADA REHABILITACION}{(1+i)^{At}} + \frac{VS}{(1+i)^{At}} \quad \text{ecuación 11-2-5}$$

Donde:

CI: Costo inicial del proyecto

I: Tasa de interés

VS: Valor de salvamento después de la última rehabilitación.

t : Es el tiempo en el cual sucede la rehabilitación.

$$\text{Relación Beneficio Costo}=\frac{VAN \text{ Alternativa 1}}{VAN \text{ Alternativa 2}} \quad \text{ecuación 11-2-6}$$

-Método del valor futuro

Se puede conocer mediante la siguiente ecuación

$$VF_j(i)=\sum_{t=0}^n A_j t(1+i)^{n-t} \quad \text{ecuación 11-2-7}$$

VF_{ji} = valor futuro de la alternativa j para la tasa i%

Ajt= Flujo de efectivo para la alternativa j al final del periodo t

Se selecciona la alternativa de mayor valor futuro.

-Método de la tasa interna de retorno (TIR)

Se denomina tasa interna de retorno a la tasa de interés que hace que el valor actual neto de un proyecto de inversión sea igual a cero, el valor del dinero en el tiempo que se emplea en el método TIR, equivale a suponer que todo el dinero que se recibe se invierte y gana interés a una tasa igual a la tasa interna de retorno, si el flujo de efectivo neto en el periodo t es negativo se le designa con Ct, si es positivo se le designa con It.

Este método considera que una inversión es aconsejable si la tasa interna encontrada es mayor a la mínima por debajo de esta la inversión no se considera rentable la alternativa conveniente será la que presente una TIR mayor.

Para la resolución existe un método para calcular la TIR de forma aproximada aplicando el método de prueba y error, así se calcula el VAN para una tasa cualquiera según el valor del VPN que nos resulte calculamos nuevos VPN para diferenciar tasas hasta acotar, con la suficiente exactitud el intervalo en el que se encuentre la TIR. Para ello se aplica la ecuación $TIR = \frac{\text{Ingresos} - \text{egresos}}{(1+i)^{n-t}}$ (Malisani, Ingeniería Economica, 1999)

Existen muchas formas de calcular la TIR también se puede aplicar la ecuación 7.1 de los apuntes de ingeniería económica, del ing. Bayardo Altamirano de prueba y error para encontrar el intervalo en el que se encuentra la TIR buscada se expresa como sigue:

$$0 = \frac{CI}{COM}(P/A, i, n) \quad \text{ecuación 11-2-8}$$

Es importante aclarar que este estudio no contempla el análisis de factibilidad en donde se determinan los ingresos que se obtendrían si se construyera el proyecto por lo que el resultado de la TIR puede dar negativa y por tanto no es aceptable, lo que significa que la tasa Interna de Retorno indica un Retorno del capital invertido, es decir ganancias por lo que aquí no se calculara ya que en los alcances no se contempló realizar factibilidad o beneficios de construcción de la carretera, la comparación económica se realizara en base al valor presente neto y al Índice de costos ya que estos requieren para su cálculo costos iniciales, costos de operación y mantenimientos y valor de salvamento.

Elección de la mejor alternativa: Generalmente se cuenta con un presupuesto limitado para inversiones y si contamos con varias propuestas posibles deberemos distribuir los fondos de que disponemos entre ellos, para ello el primer paso es hallar el valor presente actual y la inversión requerida para cada propuesta y estudiar aquella combinación de propuestas que presente la cifra máxima de valor presente sin superar el presupuesto asignado. (Malisani, Ingeniería Económica, 1999)

$$\text{Índice} = \frac{\text{Valor Presente}}{\text{Inversión}}$$

ecuación 11-2-9

En la evaluación económica se analizaron las siguientes alternativas: Concreto Hidráulico con un espesor de 18 cm y Mezcla Asfáltica en Caliente con un espesor de 10 cm, todas para un período de 20 años y una tasa de descuento del 12%, ya que los organismos internacionales que financian obras de infraestructura vial en Nicaragua requieren que los proyectos se evalúen a una tasa mínima del 12%, razón por la que se procedió a evaluar con esa tasa. A continuación se presentan los costos de construcción utilizados para cada una de las alternativas de construcción a evaluar

Tabla 11-2-1 Resumen de costos de construcción y mantenimientos para los pavimentos rígidos y flexibles utilizando base granular.

| PAVIMENTO RIGIDO CON BASE GRANULAR | | PAVIMENTO RIGIDO CON BASE GRANULAR ESTABILIZADA | |
|------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|
| CONCEPTO | ALTERNATIVA 1 \$ | ALTERNATIVA 2 \$ | MANTENIMIENTO PERIODICO+ROUTINARIO \$ |
| COSTO COSTRUCTIVO | 953348.75 | 983781.53 | 246949.82 |
| UTILIDAD 13% | 123935.34 | 127891.6 | |
| ADMINISTRACION 5% | 47667.44 | 49189.08 | |
| IMPUESTOS 1% | 9533.49 | 9837.82 | |
| TOTAL | 1134485 | 1170700.03 | |
| Costo inicial + mantenimiento | 1381434.82 | 1417649.85 | |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 11-2-2 Resumen de costos de construcción y mantenimientos para los pavimentos rígidos y flexibles utilizando base granular estabilizada y sin estabilizar

| Pavimento Flexible con Base Granular | | Pavimento Flexible con Base Granular Estabilizada | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Pavimento Flexible | Alternativa 1 Costo en Dólares (\$) | Alternativa 2 \$ | Mantenimiento Periódico + Rutinario \$ |
| Costo Alternativa 1 | 710995.86 | 635840.13 | 475110.935 |
| Utilidad 13% | 92429.46 | 82659.22 | |
| Administración 5% | 35549.79 | 31792 | |
| Impuestos 1% | 7109.96 | 6358.4 | |
| Total | 846084.74 | 756649.75 | |
| Costo Inicial + Mantenimiento | 1321195.68 | 1231760.69 | |

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo al análisis estadístico y según el manual para la inspección de daños en el pavimento rígido de Guatemala y en el manual SIECA, a los 10 años de vida se dan los mayores problemas en el pavimento por lo que en este periodo pueden ocurrir la mayor parte de las actividades de rehabilitación por tanto, para calcular el valor de salvamento utilizaremos el costo de la última rehabilitación de la cual se toma en cuenta la vida residual de la rehabilitación y la vida total esperada así lo indica el ing. Eduardo Malisani en su obra ingeniería económica

El valor de salvamento para la alternativa 1 se calcularía de la siguiente manera:

La ultima rehabilitación que corresponde a la reconstrucción tiene una vida total esperada de 10 años y el periodo de análisis es a los 20 años por lo que al cumplirse esta rehabilitación se cumple el periodo de análisis entonces la vida total esperada es de $20-10=10$

$$VS = CUR \left(\frac{VRE}{VTE} \right) \quad \text{ecuación 11-2-10}$$

$$VS = (24757.74)(10/10) = \$24757.74$$

Calculo de valor presente neto para la alternativa 1 del con pavimento rígido, utilizando la ecuación 11-2-4

$$VAN = -CI - COM (P/A, i, n) + VS (P/F, i, n)$$

$$(P/A, i, n) = \frac{(1+i)^{\lambda-n}}{i} = \frac{(1.12)^{\lambda-20}}{0.12} = 7.469$$

$$(P/F, i, n) = (1+i)^{-n} = (1.12)^{-20} = 0.104$$

Costo inicial de construcción=\$1134485

Costos por mantenimientos a los 20 años COM=\$246949.82

Costos por mantenimientos anuales lo que corresponden a los costos que egresan

COM (anual)= 246949.82/20=\$12347.491

I=12%

$$VAN=-1134485 - (12347.491) \left(\frac{1-(1.12)^{\wedge-20}}{0.12} \right) + (24757.74) (1.12)^{-20}$$

VPN=-\$1224147.333

Utilizando la ecuación 11-2-5

$$VPN=-CI-\frac{COSTO DE CADA REHABILITACION}{(1+i)^{\wedge t}} + \frac{VS}{(1+i)^{\wedge t}}$$

$$VPN=-1134485 - \frac{18028.047}{(1.12)^{\wedge 5}} - \frac{24757.74}{(1.12)^{\wedge 10}} - \frac{15084.86}{(1.12)^{\wedge 15}} + \frac{9042.43}{(1.12)^{\wedge 20}}$$

VPN=-\$1154504.48

Calculo del VPN para la alternativa 2 del pavimento rígido utilizando base granular estabilizada al momento que se realiza la rehabilitación.

Costo inicial=\$1170700.03

Valor de salvamento=\$24757.74

Costo total de mantenimientos=\$246949.82

Costo anual de mantenimientos=\$12347.491

i=12%

Calculo del VPN para la alternativa 2 usando pavimento rígido con base granular estabilizada con la ecuación 11-2-4

$$VPN= -CI- COM (P/A, i, n) + VS (P/F, i, n)$$

$$(p/A,i,n)= \frac{(1+i)^{\wedge-n}}{i} = \frac{(1.12)^{\wedge-20}}{0.12} =7.469$$

$$(P/F, i, n) = (1+i)^{-n} = (1.12)^{-20} = 0.104$$

$$VPN=-1170700.03-(12347.491) (7.469) + (24757.74) (0.104)$$

VPN2=- \$1260362.36

Calculo del VPN utilizando la ecuación 11-2-5

$$VPN2=-1170700.03-\frac{18028.047}{(1.12)^{\wedge 5}} - \frac{24757.74}{(1.12)^{\wedge 10}} - \frac{15084.86}{(1.12)^{\wedge 15}} + \frac{9042.43}{(1.12)^{\wedge 20}}$$

$$VPN2=\$ -1090308.691$$

-Cálculo del Valor Presente Neto para las alternativas constructivas del pavimento flexible, al momento en que se realiza la rehabilitación.

Alternativa 1 pavimento flexible con base granular sin tratar

Datos:

$$\text{Costo inicial}=\$846084.74$$

$$\text{Costos por mantenimientos a los 20 años COM}=\$475110.935$$

$$\text{Costos por mantenimientos anuales lo que corresponden a los costos que egresan COM (anual)}= 475110.935 /20=\$23755.55$$

$$I=12\%$$

Utilizando la ecuación 11-2-4 indicada anteriormente en este documento se procede a calcular el VAN. De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 9.10 de los costos por actividades de mantenimiento del pavimento flexible a los 10 años de construido el pavimento flexible presentara la mayor cantidad de deterioros en la superficie de rodadura, lo cual indica que para calcular el valor de salvamento se debe usar el costo de la última rehabilitación realizada a los 10 años.

$$\text{Costo de la rehabilitación a los 10 años}=\$88714.95$$

Esta rehabilitación que corresponde a reconstrucción tendrá una vida residual esperada de 10 años.

Y una vida total esperada a los 20 años de 10 años.

Eso indica que el valor de salvamento del pavimento corresponde a la última rehabilitación puesto que al final de su vida de diseño el pavimento no tendrá valor de rescate o de salvamento.

$$VPN=-CI- COM (P/A, i, n) + VS (P/F, i, n)$$

$$(p/A, i, n)=\frac{(1+i)^{\wedge-n}}{i}=\frac{(1.12)^{\wedge-20}}{0.12}=7.469$$

$$(P/F, i, n) = (1+i)^{-n} = (1.12)^{-20}= 0.104$$

$$VPN=-846084.74-(23755.55) (7.469) + (88714.95) (0.104)$$

$$\mathbf{VPN=-\$1014328.69}$$

Utilizando la ecuación 11-2-5

$$\text{Costo de la rehabilitación a los 2 años}=\$15540.79$$

$$\text{Costo de rehabilitación a los 4 años}=\$33711.484$$

Comparación Técnico–Económica del Uso de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible en Nicaragua. Estudio de Caso: Tramo Unikwas-Mulukuku

Costo de rehabilitación a los 6 años=\$33711.484

Costo de rehabilitación a los 8 años=\$16949.41

Costo de la rehabilitación a los 10 años=\$88714.95

$$VPN=-700535.81 - \frac{15540.79}{(1.12)^2} - \frac{33711.484}{(1.12)^4} - \frac{33711.484}{(1.12)^6} - \frac{16949.41}{(1.12)^8} - \frac{88714.95}{(1.12)^{10}} + \frac{88714.95}{(1.12)^{20}}$$

VPN=-\$777641.007

Calculo del VAN para el pavimento flexible con base granular estabilizada

Utilizando la ecuación 11-2-4

Costo inicial=\$756649.76

$$VPN=-756649.75-(23755.55) (7.469) + (88714.95) (0.104)$$

VPN=-\$924893.7

Comparación Técnico–Económica del Uso de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible en Nicaragua. Estudio de Caso: Tramo Unikwas-Mulukuku

Tabla 11-2-3 Flujo de costos a lo largo de la vida del pavimento rígido utilizando base granular.

| Flujo De Efectivo | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Comparación De Alternativas En Dólares Con Equivalencia De \$1=C\$27.7 En El 2015 | | | | |
| | Pavimento Rígido. Espesor 18CM+BG=25cm | | Pavimento Flexible Espesor 10CM+BG+SBG+M | |
| Año | Costos Constructivos\$ | | Costos Constructivos \$ | |
| 0 | \$1134485 | Mantenimiento Periodico+M.Rutinario | \$846085.074 | Mantenimiento Periodico+Mantenimiento. Rutinario \$ |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | 15540.79 |
| 3 | | | | 10313.40 |
| 4 | | | | 33711.48 |
| 5 | | 18028.047 | | 15347.54 |
| 6 | | | | 33711.48 |
| 7 | | | | 10313.40 |
| 8 | | | | 16949.41 |
| 9 | | | | 10313.39 |
| 10 | | 24757.74 | | 88714.95 |
| 11 | | | | 10313.39 |
| 12 | | | | 15540.7986 |
| 13 | | | | 10313.39 |
| 14 | | | | 15540.7986 |
| 15 | | 15084.86 | | 10313.39 |
| 16 | | | | 40154.24 |
| 17 | | | | 10313.39 |
| 18 | | | | 33711.48 |
| 19 | | | | 10313.39 |
| 20 | | 29344.17 | | 83680.799 |
| TOTAL | \$1134485 | 246949.82 | \$846085.074 | 475110.935 |

Fuente: Elaboración propia

Nota: BG=Base Granular, SBG= Sub-base Granular, M=Mejoramiento

Comparación Técnico–Económica del Uso de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible en Nicaragua. Estudio de Caso: Tramo Unikwas-Mulukuku

Tabla 11-2-4 Flujo de costos a lo largo de la vida del pavimento rígido y flexible utilizando base granular estabilizada.

| Flujo De Efectivo | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Comparación De Alternativas En Dólares Con Equivalencia De \$1=C\$27.7 En El 2015 | | | | |
| | Pavimento Rígido. Espesor 18cm+BGE=20cm | | Pavimento Flexible Espesor 10cm+BGE+SBG+Mejoramiento | |
| Año | Costos De Construcción Y Mantenimientos en dólares \$ | | Costos De Construcción Y Mantenimientos en dólares (\$) | |
| | | Mantenimiento Periodico+M.Rutinario \$ | | Mantenimiento Periodico+Mantenimiento. Rutinario \$ |
| 0 | \$1170700 | | \$756649.75 | |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | 15540.79 |
| 3 | | | | 10313.40 |
| 4 | | | | 33711.48 |
| 5 | | 18028.047 | | 15347.54 |
| 6 | | | | 33711.48 |
| 7 | | | | 10313.40 |
| 8 | | | | 16949.41 |
| 9 | | | | 10313.39 |
| 10 | | 24757.74 | | 88714.95 |
| 11 | | | | 10313.39 |
| 12 | | | | 15540.7986 |
| 13 | | | | 10313.39 |
| 14 | | | | 15540.7986 |
| 15 | | 15084.86 | | 10313.39 |
| 16 | | | | 40154.24 |
| 17 | | | | 10313.39 |
| 18 | | | | 33711.48 |
| 19 | | | | 10313.39 |
| 20 | | 29344.17 | | 83680.799 |
| TOTAL | 1170700.03 | 246949.82 | \$756649.75 | 475110.935 |

Fuente: Elaboración propia

BGE: Base Granular Estabilizada, SG: Sub-base Granular, M: Mejoramiento

Comparación Técnico–Económica del Uso de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible en Nicaragua. Estudio de Caso: Tramo Unikwas-Mulukuku

Finalmente luego de haber realizado el cálculo de los indicadores económicos por los métodos descritos y aplicados anteriormente se realizara el análisis con los datos obtenidos del valor presente resultando de la ecuación 11-2-4

Tabla 11-2-5 Resumen de rentabilidad financiera en la construcción de pavimentos rígidos y flexibles.

| Pavimento Rígido | | | | Pavimento Flexible | | | |
|----------------------------|-----------|-----------|--------|----------------------------|--------------|-------------|--------|
| Alternativa | Inversión | VPN \$ | Índice | alternativa | Inversión \$ | VPN \$ | índice |
| Base granular | \$1134485 | -1224147 | 1.079 | Base. Granular | 846084.74 | -1014328.69 | 1.199 |
| Base granular estabilizada | \$1170700 | - 1260362 | 1.077 | Base Granular estabilizada | 756649.75 | -924893.7 | 1.222 |

Fuente: Elaboración propia

Relación de costos entre pavimentos rígidos y flexibles utilizando base granular sin tratar y base granular estabilizada.

1-utilizando base granular sin tratar

$$\text{Relación de Costos} = \frac{VAN \text{ alternativa RIGIDO}}{VAN \text{ alternativa FLEXIBLE}} = \frac{1224147}{1014328.69} = 1.21$$

2-Utilizando base granular estabilizada

$$\text{Relación de Costos} = \frac{1260362}{924893.7} = 1.363$$

Los resultados obtenidos indican que la mejor alternativa en pavimentos es el pavimento flexible, ya que sus costos totales al finalizar el periodo de diseño son menores, además, tiene un VPN menor que el del pavimento rígido que de acuerdo a los criterios de ingeniería económica se debe seleccionar aquella alternativa con Valor presente Neto menor.

De acuerdo con la relación de costos entre el VPN de cada alternativa se ve que el índice de costos indica que el pavimento rígido es 1.21 veces más caro que el pavimento flexible si se utiliza base granular sin tratar y utilizando base granular estabilizada es de 1.363 veces más caro.

Tabla 11-2-6 Valor Presente Neto para Pavimento Rígido a los 20 años.

| Pavimento Rígido | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------|------------------------|--------------------------|
| Concepto | Costos | Año | VPN (P. Rígido) | |
| | | | Base Granular | Base Estabilizada |
| Base Granular | 1134485 | 0 | -1109727 | -1145942 |
| Base Estabilizada | 1170700 | 1 | -1123533 | -1159748 |
| COM | 12491 | 2 | -1135859 | -1172074 |
| CI +M. Base Granular | 1381435 | 3 | -1146864 | -1183079 |
| CI | 1134485 | 4 | -1156691 | -1192906 |
| CI +M. Base Estabilizada | 1417650 | 5 | -1165464 | -1201679 |
| Valor de Salvamento | 24757.74 | 6 | -1173298 | -1209513 |
| Mantenimiento/Año | 12491 | 7 | -1180292 | -1216507 |
| CI: Costo inicial de construcción COM: Costos de operación y mantenimiento | | 8 | -1186537 | -1222752 |
| | | 9 | -1192112 | -1228327 |
| | | 10 | -1197091 | -1233306 |
| | | 11 | -1201536 | -1237751 |
| | | 12 | -1205504 | -1241719 |
| | | 13 | -1209048 | -1245263 |
| | | 14 | -1212212 | -1248427 |
| | | 15 | -1215036 | -1251251 |
| | | 16 | -1217559 | -1253774 |
| | | 17 | -1219810 | -1256026 |
| | | 18 | -1221821 | -1258036 |
| | | 19 | -1223616 | -1259831 |
| | | 20 | -1225219 | -1261434 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11-2-7 Valor Presente Neto Para Pavimento Flexible a los 20 años.

| Pavimento Flexible | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------|--------------------------|--------------------------|
| Concepto | Costos | Año | VPN (P. Flexible) | |
| | | | Base Granular | Base Estabilizada |
| Base Granular | 846084.7 | 0 | -757370 | -667935 |
| Base Estabilizada | 756649.8 | 1 | -788085 | -698650 |
| COM | 12491 | 2 | -815510 | -726075 |
| CI +M. Base Granular | 1381435 | 3 | -839996 | -750561 |
| CI | 1134485 | 4 | -861859 | -772424 |
| CI +M. Base Estabilizada | 1417650 | 5 | -881379 | -791944 |
| VS | 88714.95 | 6 | -898808 | -809373 |
| Mantenimiento/Año | 23755.55 | 7 | -914369 | -824934 |
| I | 0.12 | 8 | -928263 | -838828 |
| | | 9 | -940669 | -851234 |
| CI: Costo inicial de construcción VS: Valor de salvamento COM: Costos de operación y mantenimientos I: Tasa interés anual | | 10 | -951745 | -862310 |
| | | 11 | -961635 | -872200 |
| | | 12 | -970465 | -881030 |
| | | 13 | -978348 | -888914 |
| | | 14 | -985388 | -895953 |
| | | 15 | -991673 | -902238 |
| | | 16 | -997284 | -907849 |
| | | 17 | -1002295 | -912860 |
| | | 18 | -1006768 | -917333 |
| | | 19 | -1010762 | -921327 |
| | | 20 | -1014329 | -924894 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11-2-8 Comparación de alternativas utilizando el VPN.

| Comparación de Alternativas del Pavimento Rígido y Flexible | | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| VPN (Pavimento Rígido) Base Sin Tratar | VPN (Pavimento Flexible) Base Sin Tratar | VPN P. Rígido/ VPN P. Flexible |
| | | Base Sin Tratamiento |
| -1109727.26 | -757369.79 | 1.465238348 |
| -1123532.55 | -788085.28 | 1.425648452 |
| -1135858.71 | -815509.82 | 1.3928204 |
| -1146864.20 | -839996.01 | 1.365321008 |
| -1156690.54 | -861858.69 | 1.342088388 |
| -1165464.05 | -881378.94 | 1.322318931 |
| -1173297.55 | -898807.73 | 1.305393257 |
| -1180291.74 | -914369.15 | 1.290826293 |
| -1186536.55 | -928263.27 | 1.278232787 |
| -1192112.28 | -940668.74 | 1.267302955 |
| -1197090.61 | -951745.06 | 1.257784948 |
| -1201535.54 | -961634.62 | 1.249472009 |
| -1205504.23 | -970464.59 | 1.242192912 |
| -1209047.71 | -978348.49 | 1.235804749 |
| -1212211.53 | -985387.69 | 1.230187411 |
| -1215036.36 | -991672.68 | 1.225239319 |
| -1217558.54 | -997284.29 | 1.220874081 |
| -1219810.48 | -1002294.65 | 1.217017853 |
| -1221821.14 | -1006768.18 | 1.213607225 |
| -1223616.38 | -1010762.41 | 1.210587534 |
| -1225219.27 | -1014328.69 | 1.207911477 |

Fuente: Elaboración propia

Continuación de tabla 11-2-8

| Comparación de Alternativas del Pavimento Rígido y Flexible | | |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| VPN (Pavimento Rígido) Base Estabilizada | VPN (Pavimento Flexible) Base Estabilizada | VPN P. Rígido/ VPN P. Flexible |
| | | Base Estabilizada con Cemento |
| -1145942.29 | -667934.81 | 1.7156499 |
| -1159747.58 | -698650.2957 | 1.659982957 |
| -1172073.74 | -726074.8365 | 1.614260238 |
| -1183079.23 | -750561.0337 | 1.576259866 |
| -1192905.57 | -772423.7097 | 1.544366847 |
| -1201679.08 | -791943.9562 | 1.517378943 |
| -1209512.58 | -809372.7477 | 1.494382632 |
| -1216506.77 | -824934.1686 | 1.474671331 |
| -1222751.58 | -838828.2945 | 1.457689959 |
| -1228327.31 | -851233.764 | 1.442996461 |
| -1233305.64 | -862310.0761 | 1.430234518 |
| -1237750.57 | -872199.6404 | 1.419113829 |
| -1241719.26 | -881029.6086 | 1.409395611 |
| -1245262.74 | -888913.5087 | 1.40088178 |
| -1248426.56 | -895952.7053 | 1.393406759 |
| -1251251.39 | -902237.7022 | 1.386831196 |
| -1253773.57 | -907849.3066 | 1.381037093 |
| -1256025.51 | -912859.6677 | 1.375923983 |
| -1258036.17 | -917333.2044 | 1.371405904 |
| -1259831.41 | -921327.4336 | 1.367408981 |
| -1261434.3 | -924893.7096 | 1.363869472 |

Fuente: Elaboración propia

Comparación Técnico–Económica del Uso de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible en Nicaragua. Estudio de Caso: Tramo Unikwas-Mulukuku

Tabla 11-2-9 Comparación de alternativas por medio del índice de costos

| Año | Índice De Costos | | | |
|-----|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| | VPN/Inversión (P. Rígido) (Base Sin Tratar) | VPN/Inversión (P. Rígido) (Base Estabilizada) | VPN/Inversión (P. Flexible) (Base Sin Tratar) | VPN/Inversión (P. Flexible) (Base Estabilizada) |
| 0 | -0.978177111 | -1.010099111 | -0.667589073 | -0.588755964 |
| 1 | -0.990345887 | -1.022267887 | -0.69466346 | -0.615830351 |
| 2 | -1.001210865 | -1.033132865 | -0.71883702 | -0.640003911 |
| 3 | -1.010911739 | -1.042833739 | -0.740420555 | -0.661587446 |
| 4 | -1.019573233 | -1.051495233 | -0.759691569 | -0.68085846 |
| 5 | -1.02730671 | -1.05922871 | -0.776897831 | -0.698064722 |
| 6 | -1.0342116 | -1.0661336 | -0.792260566 | -0.713427456 |
| 7 | -1.040376681 | -1.072298681 | -0.805977292 | -0.727144183 |
| 8 | -1.045881217 | -1.077803217 | -0.81822437 | -0.739391261 |
| 9 | -1.050795981 | -1.082717981 | -0.829159261 | -0.750326152 |
| 10 | -1.055184164 | -1.087106164 | -0.838922556 | -0.760089447 |
| 11 | -1.059102184 | -1.091024184 | -0.847639784 | -0.768806675 |
| 12 | -1.062600416 | -1.094522416 | -0.855423023 | -0.776589914 |
| 13 | -1.065723838 | -1.097645838 | -0.862372344 | -0.783539235 |
| 14 | -1.068512607 | -1.100434607 | -0.868577095 | -0.789743985 |
| 15 | -1.07100258 | -1.10292458 | -0.874117051 | -0.795283941 |
| 16 | -1.07322577 | -1.10514777 | -0.87906344 | -0.800230331 |
| 17 | -1.075210761 | -1.10713276 | -0.883479859 | -0.80464675 |
| 18 | -1.076983074 | -1.108905074 | -0.88742309 | -0.808589981 |
| 19 | -1.078565497 | -1.110487496 | -0.890943832 | -0.812110723 |
| 20 | -1.079978374 | -1.111900374 | -0.894087352 | -0.815254243 |

12. Análisis de resultados.

Basado en los costos iniciales de construcción requeridos por el uso de pavimento rígido y pavimento flexible, en el tramo de carretera Unikwas-Mulukuku, en base a la referencia de costos indicados en el Maestro de Costos 2015 elaborado por el Nuevo Fise, y Listado de Precios de la mano de obra al destajo publicado por la Cámara Nicaragüense (CNC), se obtuvieron los siguientes resultados:

Costos iniciales de construcción: inicialmente, los costos requeridos en la construcción de carreteras utilizando Pavimento Rígido (concreto Hidráulico) son mayores que si se utiliza pavimento Flexible, ya sea utilizando base granular sin tratar o base granular estabilizada

Si se utiliza base granular la estructura tendría un costo de:\$1134485 (Un millón ciento treinta y cuatro mil cuatrocientos ochenta y cinco dólares), si se utiliza base granular estabilizada tendrá un costo total de:\$1170700, (Un millón ciento setenta mil setecientos dólares). Se puede observar que la base granular sin tratar tiene un factor de sobre costos sobre la base granular estabilizada de: 0.97

Sin embargo, los costos iniciales de construcción utilizando pavimento flexible, son más económicos que si se utiliza pavimento rígido, los costos obtenidos fueron los siguientes: Utilizando base granular sin tratar tiene un costo de:\$846084.82, (Ochocientos cuarenta y seis mil ochenta y cuatro con ochenta y dos centavos de dólar),

Si se utiliza base granular estabilizada tiene un costo de:\$756649.75, (Setecientos cincuenta y seis mil seiscientos cuarenta y nueve con setenta y cinco centavos de dólar), esto indica que es más caro el uso de base granular sin tratar en el pavimento flexible, con un factor de sobre costos de=1.118 esto se debe a que la base estabilizada reduce el espesor de la estructura de pavimento.

Por otro lado, si comparamos los costos al final del periodo para el cual se ha diseñado el pavimento en este caso 20 años, vemos que los costos por mantenimientos requeridos por el pavimento flexible, son mayores que los requeridos por el pavimento rígido, por lo que lo hacen una alternativa poco atractiva en cuanto a rentabilidad económica ya que los costos totales incluyendo mantenimientos para el pavimento flexible utilizando base granular sin tratar son de=\$1321195.74, (Un millón trecientos veintiún mil ciento noventa y cinco con setenta y cuatro centavos de dólar).

En cambio sí se usa base granular estabilizada costara=\$1231760.75, (Un doscientos treinta y un mil setecientos sesenta con setenta y cinco centavos de dólar), todo esto indica que el pavimento rígido es la mejor alternativa en cuanto a mantenimientos sin embargo, los costos al finalizar el periodo de vida serán

menores para el pavimento flexible que los del pavimento rígido, los costos del pavimento rígido utilizando base granular serán de=\$1381434.82 (Un millón trecientos ochenta y un mil cuatrocientos treinta y cuatro con ochenta y dos centavos de dólar), los costos totales utilizando base granular estabilizada son de=\$1417694.85 (Un millón cuatrocientos diecisiete mil seiscientos noventa y cuatro con ochenta y cinco centavos de dólar).

Finalmente según los indicadores económicos como el Valor Actual Neto (VAN) y la relación de costos indican que la alternativa constructiva más económica será el pavimento flexible utilizando base granular estabilizada con un VAN de:

VPN=-\$924893.7, y un índice de costos de 0.59, en cambio el pavimento rígido tiene un VPN=-\$1260362.36 utilizando base granular estabilizada.

Por medio del índice de costos también se puede ver que el pavimento rígido tiene los costos más elevados en relación al pavimento flexible, como se indica en la tabla 11-2-8 descrita anteriormente, para base granular estabilizada el pavimento rígido es 0.29 veces más caro y de 0.18 veces más caro con base granular sin tratar.

El índice de costos indica que la inversión total al final del periodo de diseño es mayor cuando se construye con pavimento rígido que si se utiliza pavimento flexible, ya sea que se utilice base granular estabilizada o sin tratamiento.

13. Conclusiones y Recomendaciones.

13.1 Conclusiones.

Basado en los resultados obtenidos y en los objetivos trazados se plantea las siguientes conclusiones.

Con la aplicación de la metodología propuesta por la AASHTO 1993, para el diseño de pavimentos rígido y flexible, abordado en el estudio de Caso plasmado en el capítulo VIII, fue posible identificar que el pavimento flexible requiere un mayor espesor de capas subyacentes a la superficie de rodadura, sin embargo los costos iniciales de construcción son menores que los requeridos por el pavimento rígido, aunque el espesor de la estructura sea menor.

En la construcción de pavimento rígido basta con una capa de base e incluso se puede colocar directamente sobre la sub-rasante si el material de soporte es de buena calidad, la ventaja del pavimento rígido en relación al flexible es la capacidad que tiene la losa de absorber y disipar los esfuerzos producidos por los efectos del tránsito, en cambio el pavimento flexible los distribuye a las capas subyacentes.

La ventaja de implementar la metodología de la AASHTO 1993, para el diseño de estructuras de pavimento Rígido, es porque se puede obtener directamente el espesor requerido de la losa, para soportar la carga que se producirá a lo largo de del periodo de vida para el cual se diseñe la estructura, en cambio sí se diseña pavimento Flexible el resultado que se obtiene de la aplicación de la ecuación AASHTO-93, es una reacción a la carga inducida por el tráfico, la cual debe ser distribuida y absorbida por las capas subyacentes, por lo que si el procedimiento constructivo de dichas capas no se hace correctamente se producirán fallas a temprana edad del pavimento apareciendo fisuras en la superficie de rodadura.

La calidad deseada en una carretera se consigue con la implementación correcta de los procedimientos técnicos adoptados en la construcción tanto de la superficie de rodadura como de las capas subyacentes, un factor muy importante en el diseño de las mezclas es la calidad de los materiales y el Proporcionamiento adecuado de los agregados y la temperatura de colocación, una ventaja constructiva del pavimento rígido es que se puede colar manualmente, en cambio el pavimento flexible requiere obligatoriamente ser colocado por un camión asfaltador de formaleta deslizante para mantener uniforme el espesor debido a la manejabilidad de la mezcla, además, antes de iniciar el proceso asfaltado se debe colocar un riego de liga para unir la superficie con la mezcla.

De acuerdo a las condiciones climáticas en Nicaragua, resulta adecuado el uso de pavimento rígido en clima frío, las altas temperaturas pueden ocasionar alabeo y esfuerzos de contracción que al superar la resistencia del concreto pueden aparecer fisuras y problemas de transferencia de carga, en cambio, en zona con clima cálido (Caluroso) es más ventajoso el uso de pavimento flexible por ser un material termo plasto, sin embargo se debe tener cuidado y no construir pavimento flexible cuando la temperatura y el volumen vehicular sean demasiado alto, ya que el asfalto tendera a ablandarse con tendencia a ahuellarse ante la acción del tráfico, por otro lado, en clima frío tiende a rigidizarse y pueden aparecer fisuras transversales.

En zonas donde se registren altos volúmenes de tránsito pesado, como Nejapa-Izapa o En las regiones en donde el suelo tenga poca capacidad de soporte como los de la Costa Caribe de nuestro país (RACN, RACS), el pavimento Rígido (Concreto Hidráulico) es la mejor opción por tener mayor periodo de vida que el pavimento flexible y por la capacidad de absorber y disipar los esfuerzos producidos por los efectos del tránsito, también por sus bajos costos de mantenimiento, lo que viene a garantizar mayor rentabilidad en la inversión e incremento del patrimonio vial. En cambio el uso de pavimento flexible será adecuado en zonas de tráfico medio y terracería con calidad buena (MTI, Red Vial Nicaragua, 2014).

En el análisis económico se evaluó los costos de construcción y mantenimientos que se requieren en la construcción de cada pavimento sin embargo aunque el pavimento flexible requiera mayores actividades de mantenimientos, los costos al final del periodo de diseño son menores que los del pavimento rígido, aunque el pavimento rígido sea más barato en cuanto a mantenimiento, los costos iniciales lo hacen más caro.

Esto se pudo verificar a través del estudio de Caso mostrado en el Capítulo Ocho de esta Tesis; son muchas las ventajas que indican que el pavimento rígido es la mejor alternativa en la construcción de carreteras, pues lo que se busca es que ofrezcan el servicio requerido y que sean estables a largo plazo.

Aunque todo favorezca el uso de pavimento rígido, en un país de bajo nivel económico como Nicaragua, si se adopta esta alternativa muchas carreteras quedarían sin pavimentarse porque inicialmente se requiere una gran inversión, por esta razón no sería satisfactorio; en este sentido la alternativa predominante es el pavimento flexible, motivo por el cual la gran mayoría de la red vial pavimentada de Nicaragua consta de pavimento flexible.

13.2 Recomendaciones.

13-2-1 Recomendación Económica

Analizando el costo total que tendrá el pavimento al final del periodo de diseño se recomienda el uso de pavimento rígido en lugar de pavimento flexible, ya que el pavimento rígido requiere menos costos por mantenimiento caso contrario a lo que sucede con el pavimento flexible.

Se recomienda usar pavimento flexible cuando el fondo de inversión disponible para el proyecto no sea suficiente para cubrir los costos de construcción que requiere el pavimento rígido.

Se recomienda utilizar pavimento rígido en la zona urbana y en zonas de tráfico denso, garantizando una carretera con periodo de vida a largo plazo.

13-2-2 Recomendaciones Técnicas.

En zonas propensas a inundaciones con suelos de bajo soporte se debe construir con pavimento rígido.

Cuando se requiera calles de larga duración utilizar pavimento rígido.

Cuando el tráfico sea de carga pesada y carreteras por donde circule la economía del país que son utilizadas para sacar la producción se requiere carreteras que no se dañen con facilidad por lo que se recomienda el pavimento rígido

Y donde la demanda del tráfico sea mayor se debe garantizar larga vida a la carretera para evitar el atraso del flujo vehicular por repetidas acciones de mantenimiento y donde el clima sea muy húmedo se debe construir pavimento rígido.

13-2-3 Recomendaciones constructivas para pavimento flexible

Al preparar el asfalto no se debe calentar a temperaturas mayores de 175°C, la temperatura a la que se debe colocar el cemento asfáltico debe ser la que corresponda a una viscosidad cinemática del mismo entre 0.15 y 0.19 centistoke. En ningún caso la mezcla salida de la planta deberá exceder de 165°C.

La mezcla no debe efectuarse si la temperatura es muy baja usualmente se fijan los siguientes límites no menor de 12°C para asfaltos líquido y no menor de 5°C si se utilizan emulsiones asfálticas. Para asegurar el grado de fricción interna de la mezcla se debe tomar en cuenta la angularidad de los agregados, definido como porcentaje de vacío de aire en el agregado menor a 2.36mm

La superficie de soporte del pavimento debe ser uniforme y compactada al 95% considerando que el espesor de la capa de rodadura es pequeño, tener presente

que si no se hace esto al paso de los vehículos la superficie de rodadura se hundirá provocando fisuramiento y fallas transversales o longitudinales en la superficie.

La mezcla se debe distribuir con motoniveladora para que el regado sea uniforme y debe ser compactada hasta lograr un 96% de compactación.

Primero se debe dar una pasada con una compactadora de rodillo liso luego con un compactador de rodillos neumáticos.

13-2-4 Recomendaciones constructivas para pavimento rígido

1- Losa Integral

Tener cuidado con la construcción del hombro del pavimento ya que al construirlo de manera separada de la estructura principal la estructura no podría cumplir con los parámetros de esbeltez que se indican a nivel nacional e internacional, de hacerlo aumentaría el riesgo de flexión en esa franja produciéndose fisuras que se pasarían a la losa, por lo que se recomienda hacer una sola llena de la losa de la estructura del pavimento con los hombros.

2- Anclajes Exteriores.

Anclar cada segmento exterior de las losas a la base mediante la inserción de barras verticales de acero de refuerzo corrugados grado 40 de 40 Cm de longitud que sobresalgan 10cm de la superficie de la base. Dichas barras se insertaran antes de la fundición de las losas y se colocaran a 3.025m de la línea central con un espaciamiento de 1.8m se coloquen tres barras y la distancia a las juntas transversales debe ser de 30.0 cm. El diámetro de las barras será de 5/8 pulgada

3- Aserrado de Juntas.

Deben emplearse sierras para concreto con la potencia suficiente para cortar el espesor total de la losa. Las sierras deben estar equipadas con guías y dispositivos que aseguren la alineación y profundidad de corte requeridos. El aserrado de juntas se ejecutará con el sistema SoftCut con sierras de 2 mm de ancho a una profundidad de 1/3 del espesor de las losas en las juntas longitudinales y ¼ del espesor de la losa en las juntas transversales. El corte se deberá mantener a la profundidad especificada en toda la longitud o ancho de las losas. El espaciamiento de las juntas transversales será de 1.80 m mientras que las juntas longitudinales interiores se localizarán a una distancia de la línea central de 1.675 m y 1.525 m para las zonas rural y urbana respectivamente.

4- Barras de sujeción.

Se utilizan en la junta longitudinal central para unir con las losas del carril adyacente. Se deben utilizar barras de acero de refuerzo corrugadas 1/2 plg grado 40 N° 4, colocadas en posición horizontal y perpendiculares a la junta, a la mitad del espesor de la losa con un espaciamiento de 60 cm y con una longitud de 80 cm. No se colocarán barras de sujeción a una distancia menor de 36 cm de las juntas transversales. Cuando la fundición o colado de los carriles se hace separadamente, las barras de sujeción se dejan empotradas en las losas del carril previamente construido. Estas barras generalmente no se doblarán salvo causas plenamente justificadas aprobadas por el Supervisor, en este caso se pueden enderezar para su posición final al proceder a la colocación del carril o franja de losa adyacente.

5- Terminación Superficial: La terminación deberá asegurar la menor rugosidad posible, y preferentemente lograr una rugosidad inicial (IRI) de 2.0 m/km de media y 2,8 m/km máxima. Para ello, se deberán utilizar las tecnologías y recursos adecuados que permitan asegurar que estas exigencias se cumplan. En el caso de construir los pavimentos de forma manual se sugiere la utilización de alisadores manuales de dimensión igual o mayor a 3 mts de ancho y mango largo para asegurar la mejor planicidad (planeidad) posible de terminación del concreto. La terminación superficial del pavimento se deberá realizar sobre la superficie terminada y fresca con una esterilla mojada o rayada con escobillón que permita dejar una terminación suave sobre la superficie. Se sugiere que el sentido del rayado sea longitudinal.

6- Curado.

Una vez terminados los trabajos de hormigonado, es decir realizado el rayado de la superficie del hormigón, este se deberá curar en dos etapas:

-Colocar Retardador de fraguado: este producto se debe colocar una vez realizada la terminación superficial del concreto, con el hormigón fresco. Este producto evitara las primeras fisuras por retracción plástica y disminuirá el alabeo de construcción por secado de la superficie.

-Colocar membrana de curado Tradicional: Una vez realizados los cortes al pavimento, es decir una vez endurecido éste, se aplicara la membrana de curado tradicional protegiendo el hormigón de la evaporación de la superficie con efectos similares descritos en el punto anterior.

En caso de que la temperatura en la noche sufra descensos importantes (mayor a 10°C) se recomienda complementar este curado, mediante la colocación de una aislación térmica superficial como geotextil grueso o polietileno con burbujas (las burbujas tocando la superficie del pavimento), materiales que deberán cubrir el concreto por lo menos la primera noche, colocado 1 hora después de realizada la última etapa de curado. Esta aislación permite disminuir el alabeo inicial de las losas, además de acelerar la apertura al tráfico.

7- Corte de Juntas

Se deberá cortar las juntas de contracción longitudinal y transversal en el pavimento a partir del momento en que se pueda colocar una máquina de corte sobre la superficie de rodado sin dejar marcadas las huellas (aproximadamente 6 horas). El contratista deberá considerar el endurecimiento del concreto y la temperatura ambiente para definir el momento cuando se debe efectuar el corte de juntas, el cual deberá realizarse lo antes posible para evitar fisuras por retraso de corte y disminuir tensiones de alabeo en las losas. Se deberá contar con la cantidad de recursos, equipos y sierras de corte necesarios para realizar esta tarea. En el caso, de que no se pueda disponer de una cantidad suficiente de equipos, se deberá comenzar cortando la junta o juntas longitudinales más cercanas a los bordes del pavimento construido (cuando se pavimenta a dos carriles a la vez) y transversales por lo menos una por medio, y luego el corte longitudinal restante y realizándose el resto de los cortes intermedios, tan pronto como sea posible. La secuencia de los cortes es importante para el comportamiento futuro. Se deberá disponer de por lo menos 6 equipos de corte para efectuar la faena de corte del concreto.

El corte se deberá realizar con sierra delgada de 2 mm de ancho para evitar el ingreso de partículas dañinas al interior de la junta.

8 -Sellado de Juntas

Por experiencia en otras construcciones y atendiendo las normas internacionales recomendamos sellar todas las juntas del concreto.

9- Apertura al Tráfico.

El pavimento se podrá abrir al tráfico cuando tenga una resistencia a flexotracción de 2,5 MPa (25 Kg/cm²). La verificación de la resistencia para apertura al tráfico se puede realizar por medio de la relación madurez del concreto y resistencia.

10- Obras de Drenaje de Protección

En vista que en el tramo del camino ubicado entre las estaciones 0+000 y 2+700 en la última capa de la sub rasante hay presencia de materiales finos que por medio de capilaridad u otros medios pueden trasladar el agua hacia las capas superiores dañándose ellas y las capas de soporte de la estructura de pavimento. En vista de eso se recomienda hacer un estudio hidrotécnico para determinar la construcción de obras de drenaje de protección.

11- Pasadores

Con el objetivo de darle mayor rigidez a las losas recomendamos ponerles pasadores de acero corrugado en las juntas longitudinales o en su defecto anclar las losas a la base con acero.

12- Reforzamiento de la Sub Rasante

Tomando en cuenta la baja calidad de la sub rasante en el tramo ubicado entre la est. 0+00 y 2+700 recomendamos en este tramo realizar una de las dos alternativas siguientes:

- A. Excavar al menos cuarenta centímetros del material indeseable y sustituirlo con material de los bancos humedecido y compactado al 95% de próctor estándar.
- B. Realizar un mejoramiento de la capa que tiene el material con clasificación ML.

13-2-5 Recomendaciones para mitigar impactos ambientales en la construcción de carreteras.

Identificación de impactos potenciales

Definición de impacto ambiental: cambio en un parámetro ambiental en un periodo de tiempo específico, dentro de un área definida, resultado de una actividad particular, comparado con la situación en la cual la acción no se hubiera realizado. En otras palabras el impacto es el producto de una interacción entre el proyecto y su entorno.

El estudio de impacto ambiental conlleva a realizar una evaluación cualitativa y cuantitativa de los impactos ambientales para definir su significancia, para ello se deben establecer medidas de mitigación de impactos negativos que se pueden generar en un proyecto, estas pueden ser de prevención, mitigación y de compensación.

Las medidas ambientales pueden ser evaluadas a través de criterios de aplicación por medio de especificaciones que tienen carácter de prevención, control y protección a los recursos naturales y al ambiente

Excavación de bancos de préstamos

Augurarse que el descapote sea el mínimo necesario según el diseño y se dispondrá este material en capas cuya altura no superen los 2m, en una superficie plana que impida su contaminación para luego de terminadas las actividades colocarlo en los taludes para la protección y regeneración del suelo. Se debe compactar y estabilizar el material excedente, Se revegeta los botaderos

-Control en el sistema de drenaje

No se debe alterar el sistema de drenaje existente y canalizar las aguas de los predios aledaños para que éstas no alteren los drenajes y viceversa. Las alcantarillas deberán estar provistas donde sea necesario con disipadores de energía y delantales para evitar la erosión y socavación del borde del camino y de los terrenos colindantes, sobre todo en la parte de taludes de terraplén. Se revestirán las cunetas con pendientes mayores de 5%. El revestimiento se hará con el material indicado en los Planos Ambientales.

-Fuentes de agua

Proteger con grama los taludes y áreas de servidumbre, arborización en áreas de uso público y aceras, con especies nativas como medidas de control de erosión.

Evitar arrojar suelos o material de relleno en los ríos o drenajes pluviales durante construcción de puentes.

Considerar en los diseños para los puentes vehiculares, las medidas de retención de sedimentos en los taludes (zampeados, muros). Construir infraestructuras de control de erosión (zampeados y disipadores de velocidad del agua).

El Contratista debe establecer un sistema de extracción de agua de manera que no exista remoción de las partículas suspendidas aumentando la turbidez del agua, encharcamiento en el área u otros daños en los componentes del medio ambiente aledaño, tales como alteración de la fauna acuática. Evitar la utilización de otras fuentes de aguas no señaladas con anterioridad, especialmente aquellas fuentes que tienden a secarse y/o que presenten conflictos con terceras personas

-Depósito de materiales

Botar o acumular los materiales sobrantes, únicamente en los sitios aprobados por el Ingeniero y la supervisión ambiental, cuidando de no alterar el drenaje natural, ensuciar o contaminar las aguas superficiales, o afectar de alguna forma los cultivos en los terrenos aledaños o alterar el paisaje del lugar, se deberá establecer un plan de cierre que permita dejar el terreno en condiciones mejores si es posible a las encontradas

-Control de contaminación

Se establecerán formas de recolectar el aceite de cambio y otros desechos de la maquinaria de modo que no sea regado sobre el terreno del plantel ni sobre terrenos privados. El aceite podrá ser vendido o recibido por fábricas de bloques y fundidoras. No se permitirá el lavado de equipos en los cursos de agua.

El mantenimiento y lavado de equipo y maquinaria, cambio de lubricantes y abastecimiento de combustibles, se efectuará en los sitios especialmente habilitados y que hayan sido autorizados por el Ingeniero.

-Trabajos de reforestación

El trabajo de reforestación consistirá en la siembra de plántulas en reposición a las afectadas por la construcción del proyecto según las posibilidades de protección o en las riberas de los ríos en la cercanía de la vía y la reposición de cercas vivas.

Medidas para mitigar la pérdida y afectación de la vegetación.

- 1- Las especies de árboles de interés comercial y que presenten condiciones de uso, deberán ser aprovechadas por el contratista en la obra.
- 2- La tala deberá contar con la aprobación del ministerio de ambiente y el ministerio de transporte (sección ambiental)
- 3- Compensar la tala con la siembra de árboles ornamentales de medio porte en sitios específicos dentro del área de alineamiento del vía, para lo que se debe elaborar un plan de arborización.

Estabilización de Suelos con Cemento.

En la aplicación de estabilizadores de suelos en la superficie de la vía, se deberá evitar el derrame en los suelos que quedan fuera del prisma de la vía y la contaminación de arroyos, quebradas y cuerpos de agua.

-En la estabilización se debe considerar lo siguiente:

La técnica y equipo a emplearse deben ser las apropiadas y ajustarse estrictamente a las normas y especificaciones de construcción. Para el vertido del producto debe tomarse toda precaución en cuanto a la óptima condición del equipo y técnica adecuada de aplicación, evitando derrames, daños a la vegetación y a las áreas ecológicamente frágiles. Las cantidades o volúmenes establecidos deben ser respetados, evitando acumulación de excedentes que perjudiquen el medio ambiente.

-Aspectos Ambientales

En áreas con suelo frágil o expuesto a procesos erosivos activos, estos deberán revegetarse y engramarse. El ingeniero de acuerdo a la recomendación del estudio ambiental determinara el método y la variedad de semilla de grama a usarse. Durante la ejecución de la obra el contratista debe garantizar y proteger, tanto como sean posible todas las áreas engramadas susceptibles a erosión ocasionadas por la ejecución temporal y permanente de las obras de drenaje y construcción.

El contratista tomara las medidas mínimas necesarias para mitigar la concentración de aguas superficiales, socavación de pendientes, explotación d bancos de préstamos u otras áreas que conlleven algún impacto negativo al ambiente. El contratista deberá rellenar y consolidar las cunetas o canales de deslave levantados durante la fase constructiva restaurando posteriormente las áreas a su condición apropiada.

Contaminación atmosférica por gases contaminantes

Realizar las verificaciones recomendadas por los fabricantes, en los escapes de la maquinaria y equipo, Apagar el motor de camiones, maquinaria y equipo pesado cuando no estén trabajando

Contaminación por hidrocarburos

- 1- Se debe contar con equipos para el manejo de derrame de sustancias contaminantes.
- 2- Durante la construcción del proyecto, almacenar las sustancias combustibles como hidrocarburos, aceites, grasas, etc, únicamente en las áreas de depósito designadas para el proyecto.
- 3- Realizar trabajos de mantenimiento o reparación en el taller que se estipula para la obra.
- 4- Debe utilizarse sólo los recipientes y tanques portátiles aprobados para el almacenamiento y manejo de líquidos combustibles e inflamables.
- 5- Capacitar al personal que se encargue de clasificar los residuos que deben ser tratados y eliminados.

Impacto social

Medidas para evitar la generación de desechos

- 1- Dotar de tanques de 55 galones para la recolección de los residuos sólidos y depositarlos en el vertedero municipal por lo menos dos veces por semana, estos botaderos se deben ubicar a una distancia mínima de 200m de curso de agua
- 2- Contratar a una empresa especializada en servicios de suministro de letrinas portátiles, la cual deberá cumplir con los requisitos ambientales y sanitarios que exige la legislación para el tratamiento, en este tipo de desecho.
- 3- Se deberá colocar un número adecuado de letrinas portátiles en los diferentes frentes de trabajo de la construcción.
- 4- Se debe realizar el mantenimiento de estas unidades y recoger los desperdicios sanitarios por lo menos dos veces a la semana.
- 5- Evitar hacer necesidades fisiológicas a la intemperie. (NIC-2000)

14. Bibliografía

Trabajos citados

- ACI. (S.F.). Instituto Americano Del Concreto.
- Administrador. (1993). Método AASHTO 93 Para El Diseño De Pavimento Rígido.
- Caterpillar. (2015). Obtenido De Catalogo De Maquinarias.
- Civilgeeks. (2015)
- Conroy, I. J. (2014). Vialidad Y Transporte Latinoamericano. Perú.
- Coronado, I. (2000). Catalogo Centroamericano De Daños A Pavimentos Viales Tomo II. Guatemala.
- Especificaciones Generales Para La Construcción De Carreteras Y Puentes, Dirección General De Caminos. (2000). Guatemala.
- CNC. (2015) Destajo de mano de obra en actividades de la construcción.
- FISE, N. (2015). Maestro De Costos 2015 Nuevo FISE. Managua.
- Fonseca, A. (2001). Ingeniería De Pavimentos. Bogotá Colombia: Agora Editores.
- Fonseca, D. (2012). Trilogía, Características Y Diseño De Mezclas Asfálticas En Caliente.
- Guía Para El Diseño De Estructuras De Pavimentos, AASHTO. (1993).
- HOLCIM. (S.F.). Costos Unitarios Del Concreto. (Tesis, Entrevistador)
- Jorge, I. I. (2000). Catalogo Centroamericano De Daños En Pavimentos Viales. Tomo II. Guatemala.
- Juan, U. N. (1994). Diseño Estructural De Caminos. Argentina.
- LIANSA ingenieros. (2015). Memoria De Costos Unitarios Por Actividades De Construcción Y Mantenimiento. Managua.
- M., I. G. (2004). Apuntes De Pavimentos Volumen I. Caracas: Universidad Santa María De Caracas-Venezuela.
- MTI. (2015). Red Vial De Nicaragua. Managua.

(Mtiniv), M. D. (2008). Estudio E Investigaciones Del Estado Actual De Las Obras De La Red Nacional De Carreteras De Colombia. Colombia.

Nic-2000. (2012). Especificaciones Generales Para La Construcción De Caminos, Calles Y Puentes.

PCA. (2003). Diseño Y Control De Mezclas De Concreto.

PCA. (S.F.). Asociación Del Cemento Portland.

Rangel, J. A. (2012). Tecnología Del Cemento Asfalto.

Ricardo. (2013). Construcción De Subrasantes Y Bases Para Pavimentos De Concreto. Managua.

Sa., L. I. (2015). Costos Requeridos Por Equipos Y Mano De Obra Para La Construcción Y Mantenimientos. Managua.

Selección De Tratamientos Y Estrategias De Rehabilitación De Los Pavimentos Rígidos Y Flexibles. (2005).

(Sct), S. D. (2003). Método De Muestreo Y Prueba De Materiales Para Terracerías.

Sieca. (2002). Manual Centroamericano Para Diseño De Pavimentos. Guatemala: Sieca/Usaid.

Sieca. (2010). Manual Centroamericano De Mantenimiento De Carreteras.

El Nuevo Fise, Manual de Administracion del Ciclo del Proyecto. (2007). Manual de Administracion del Ciclo del Proyecto. Managua: Gobierno de Nicaragua.

15. ANEXOS

Anexo 1 Factores de transportes de Managua a los depto. Del país

Anexo 1-1 Factores de transporte a las cabeceras municipales de Managua.

| Departamento | Municipios por Departamento | Cabecera Municipal | Distancia desde Managua (Km) | Grado de Dificultad en el Acceso | Factor de Transporte | |
|--------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------|
| Managua | 1 | San Francisco Libre | San Francisco Libre | 66 | 2 | 1.1741 |
| | 2 | Tipitapa | Tipitapa | 22 | 1 | 1.0454 |
| | 3 | Mateare | Mateare | 20 | 1 | 1.0425 |
| | 4 | Villa El Carmen | Villa El Carmen | 42 | 1 | 1.0613 |
| | 5 | San Rafael del Sur | San Rafael del Sur | 46 | 1 | 1.0602 |
| | 6 | Managua | Managua | - | 1 | 1.0300 |
| | 7 | El Crucero | El Crucero | 22 | 1 | 1.0573 |
| | 8 | Ciudad Sandino | Ciudad Sandino | 12 | 1 | 1.0393 |
| | 9 | Ticuantepe | Ticuantepe | 16 | 1 | 1.0555 |
| Masaya | 1 | La Concepción | La Concepción | 37 | 1 | 1.0530 |
| | 2 | Nindiri | Nindiri | 26 | 1 | 1.0523 |
| | 3 | Masaya | Masaya | 29 | 1 | 1.0516 |
| | 4 | Tisma | Tisma | 39 | 1 | 1.0530 |
| | 5 | Masatepe | Masatepe | 48 | 1 | 1.0542 |
| | 6 | Nandasmo | Nandasmo | 48 | 1 | 1.0542 |
| | 7 | Catarina | Catarina | 40 | 1 | 1.0533 |
| | 8 | Niquinohomo | Niquinohomo | 43 | 1 | 1.0536 |
| | 9 | San Juan de Oriente | San Juan de Oriente | 41 | 1 | 1.0533 |
| Carazo | 1 | San Marcos | San Marcos | 42 | 1 | 1.0532 |
| | 2 | Diriamba | Diriamba | 42 | 1 | 1.0532 |
| | 3 | Dolores | Dolores | 44 | 1 | 1.0535 |
| | 4 | Jinotepe | Jinotepe | 47 | 1 | 1.0540 |
| | 5 | El Rosario | El Rosario | 51 | 1 | 1.0631 |
| | 6 | La Paz de Carazo | La Paz de Carazo | 55 | 1 | 1.0635 |
| | 7 | Santa Teresa | Santa Teresa | 54 | 1 | 1.0634 |
| | 8 | La Conquista | La Conquista | 64 | 1 | 1.0672 |

Fuente: (El Nuevo Fise, Manual de Administración del Ciclo del Proyecto, 2007).

Anexo 1-2 Factores de transporte a la región suroriente.

| Departamento | Municipios por Departamento | Cabecera Municipal | Distancia desde Managua (Km) | Grado de Dificultad en el Acceso | Factor de Transporte | |
|----------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------|
| Granada | 1 | Granada | Granada | 45 | 1 | 1.0536 |
| | 2 | Diria | Diria | 43 | 1 | 1.0531 |
| | 3 | Diriomo | Diriomo | 44 | 1 | 1.0535 |
| | 4 | Nandaime | Nandaime | 66 | 1 | 1.0676 |
| Rivas | 1 | Tola | Tola | 124 | 2 | 1.1100 |
| | 2 | Belén | Belén | 102 | 1 | 1.0725 |
| | 3 | Potosí | Potosí | 105 | 1 | 1.0766 |
| | 4 | Buenos Aires | Buenos Aires | 113 | 1 | 1.0839 |
| | 5 | Rivas | Rivas | 111 | 1 | 1.0810 |
| | 6 | San Jorge | San Jorge | 116 | 1 | 1.0872 |
| | 7 | San Juan del Sur | San Juan del Sur | 141 | 1 | 1.1385 |
| | 8 | Cárdenas | Cárdenas | 162 | 2 | 1.2256 |
| | 9 | Moyogalpa | Moyogalpa | 131 | 4 | 1.6020 |
| | 10 | Altagracia | Altagracia | 150 | 4 | 1.6244 |
| Total de Municipios de la Región Sur Oriente | 31 | | | | | |

| Factor de Transporte a las Cabeceras Municipales de la Región de Occidente | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Departamento | Municipios por Departamento | | Cabecera Municipal | Distancia desde Managua | Factor de Transporte |
| Chinandega | 1 | El Viejo | El Viejo | 137 | 1.1177 |
| | 2 | Puerto Morazán | Tonalá | 148 | 1.1893 |
| | 3 | Somotillo | Somotillo | 199 | 1.1462 |
| | 4 | Santo Tomas del Norte | Santo Tomas del Norte | 217 | 1.1867 |
| | 5 | Cinco Pinos | Cinco Pinos | 229 | 1.1648 |
| | 6 | San Pedro del Norte | San Pedro del Norte | 237 | 1.2123 |
| | 7 | San Francisco del Norte | San Francisco del Norte | 242 | 1.2325 |
| | 8 | Villanueva | Villanueva | 191 | 1.1211 |
| | 9 | El Realejo | El Realejo | 144 | 1.0930 |
| | 10 | Corinto | Corinto | 153 | 1.1068 |
| | 11 | Chichigalpa | Chichigalpa | 118 | 1.0821 |
| | 12 | Posoltega | Posoltega | 112 | 1.0914 |
| | 13 | Chinandega | Chinandega | 132 | 1.0697 |
| León | 1 | León | León | 91 | 1.0751 |
| | 2 | Quezalguaque | Quezalguaque | 108 | 1.0712 |
| | 3 | Telica | Telica | 100 | 1.0864 |
| | 4 | Larreynaga | Malpaisillo | 124 | 1.0979 |
| | 5 | El Sauce | El Sauce | 181 | 1.1961 |
| | 6 | Achuapa | Achuapa | 204 | 1.1879 |
| | 7 | Santa Rosa del Peñón | Santa Rosa del Peñón | 170 | 1.0935 |
| | 8 | El Jicaral | El Jicaral | 160 | 1.0678 |
| | 9 | La Paz Centro | La Paz Centro | 66 | 1.0602 |
| | 10 | Nagarote | Nagarote | 50 | 1.0610 |

Fuente: (El Nuevo Fise, Manual de Administración del Ciclo del Proyecto, 2007).

Comparación Técnico–Económica del Uso de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible en Nicaragua. Estudio de Caso: Tramo Unikwas-Mulukuku

| Factor de Transporte a las Cabeceras Municipales de la Región de las Segovias | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| Departamento | Municipios por Departamento | | Cabecera Municipal | Distancia desde Managua (Km) | Grado de Dificultad en el Acceso | Factor de Transporte |
| Estelí | 1 | Pueblo Nuevo | Pueblo Nuevo | 202 | 1 | 1.1054 |
| | 2 | Condega | Condega | 180 | 1 | 1.0941 |
| | 3 | San Juan de Limay | San Juan de Limay | 189 | 2 | 1.2189 |
| | 4 | Estelí | Estelí | 152 | 1 | 1.0986 |
| | 5 | La Trinidad | La Trinidad | 123 | 1 | 1.0779 |
| | 6 | San Nicolás | San Nicolás | 138 | 1 | 1.1018 |
| Madriz | 1 | Somoto | Somoto | 216 | 1 | 1.1077 |
| | 2 | Totogalpa | Totogalpa | 217 | 1 | 1.1077 |
| | 3 | Telpaneca | Telpaneca | 213 | 1 | 1.1075 |
| | 4 | San Juan de Rio Coco | San Juan de Rio Coco | 234 | 2 | 1.2205 |
| | 5 | Yalaguina | Yalaguina | 205 | 1 | 1.1054 |
| | 6 | Palacaguina | Palacaguina | 191 | 1 | 1.1015 |
| | 7 | San Lucas | San Lucas | 227 | 1 | 1.1189 |
| | 8 | Las Sabanas | Las Sabanas | 237 | 1 | 1.1470 |
| | 9 | San José de Cusmapa | San José de Cusmapa | 251 | 2 | 1.2282 |
| Nueva Segovia | 1 | Santa María | Santa María | 260 | 2 | 1.2295 |
| | 2 | Macuelizo | Macuelizo | 244 | 2 | 1.2280 |
| | 3 | Dipilto | Dipilto | 239 | 2 | 1.2278 |
| | 4 | Ocotol | Ocotol | 226 | 1 | 1.1189 |
| | 5 | Mozonte | Mozonte | 231 | 1 | 1.1456 |
| | 6 | San Fernando | San Fernando | 248 | 2 | 1.2282 |
| | 7 | Ciudad Antigua | Ciudad Antigua | 250 | 2 | 1.2282 |
| | 8 | El Jícaro | El Jícaro | 274 | 2 | 1.2345 |
| | 9 | Wiwili de Nueva Segovia | Wiwili de Nueva Segovia | 331 | 2 | 1.2557 |
| | 10 | Jalapa | Jalapa | 291 | 2 | 1.2533 |
| | 11 | Murra | Murra | 292 | 2 | 1.2533 |
| | 12 | Quilali | Quilali | 293 | 2 | 1.2533 |
| Total de Municipios Región Las Segovias | 27 | | | | | |

Fuente: (El Nuevo Fise, Manual de Administracion del Ciclo del Proyecto, 2007).

| Factor de Transporte a las Cabeceras Municipales de la Región Central Norte | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| Departamento | Municipios por Departamento | | Cabecera Municipal | Distancia desde Managua (Km) | Grado de Dificultad en el Acceso | Factor de Transporte |
| Jinotega | 1 | Wiwili de Jinotega | Wiwili de Jinotega | 249 | 2 | 1.4732 |
| | 2 | El Cua | El Cua | 269 | 2 | 1.3510 |
| | 3 | San José de Bocay | San José de Bocay | 269 | 2 | 1.3510 |
| | 4 | San Sebastián de Yali | San Sebastián de Yali | 207 | 1 | 1.3392 |
| | 5 | La Concordia | La Concordia | 195 | 1 | 1.2566 |
| | 6 | San Rafael del Norte | San Rafael del Norte | 189 | 1 | 1.3234 |
| | 7 | Santa María de Pantasma | Santa María de Pantasma | 212 | 2 | 1.3152 |
| | 8 | Jinotega | Jinotega | 163 | 1 | 1.2337 |
| Matagalpa | 1 | San Isidro | San Isidro | 118 | 1 | 1.1822 |
| | 2 | Sebaco | Sebaco | 103 | 1 | 1.0725 |
| | 3 | Ciudad Darío | Ciudad Darío | 89 | 1 | 1.0711 |
| | 4 | Terrabona | Terrabona | 110 | 2 | 1.2613 |
| | 5 | San Dionisio | San Dionisio | 122 | 2 | 1.2892 |
| | 6 | Esquipulas | Esquipulas | 108 | 1 | 1.1553 |
| | 7 | Muy Muy | Muy Muy | 132 | 1 | 1.1742 |
| | 8 | Matagalpa | Matagalpa | 127 | 1 | 1.1681 |
| | 9 | San Ramón | San Ramón | 137 | 1 | 1.1966 |
| | 10 | El Tuma-La Dalia | La Dalia | 168 | 1 | 1.2431 |
| | 11 | Rancho Grande | Rancho Grande | 203 | 1 | 1.2355 |
| | 12 | Matiguas | Matiguas | 156 | 1 | 1.1732 |
| | 13 | Rio Blanco | Rio Blanco | 188 | 1 | 1.1832 |
| Total de Municipios de la Región Central Norte | 21 | | | | | |

Fuente: (El Nuevo Fise, Manual de Administración del Ciclo del Proyecto, 2007).

Comparación Técnico–Económica del Uso de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible en Nicaragua. Estudio de Caso: Tramo Unikwas-Mulukuku

| Factor de Transporte a las Cabeceras Municipales de la Región Central Norte | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| Departamento | Municipio por Departamento | | Cabecera Municipal | Distancia desde Managua (Km) | Grado de Dificultad en el Acceso | Factor de Transporte |
| Boaco | 1 | San José de los Remates | San José de los Remates | 97 | 1 | 1.1147 |
| | 2 | Teustepe | Teustepe | 71 | 1 | 1.0661 |
| | 3 | Santa Lucía | Santa Lucía | 92 | 1 | 1.0987 |
| | 4 | Boaco | Boaco | 88 | 1 | 1.0725 |
| | 5 | Camoapa | Camoapa | 115 | 1 | 1.1242 |
| | 6 | San Lorenzo | San Lorenzo | 92 | 1 | 1.1071 |
| Chontales | 1 | Comalapa | Comalapa | 129 | 1 | 1.0774 |
| | 2 | Juigalpa | Juigalpa | 138 | 1 | 1.0900 |
| | 3 | La Libertad | La Libertad | 170 | 1 | 1.1165 |
| | 4 | Santo Domingo | Santo Domingo | 181 | 1 | 1.1235 |
| | 5 | San Pedro de Lovago | San Pedro de Lovago | 189 | 1 | 1.1289 |
| | 6 | Santo Tomás | Santo Tomás | 178 | 1 | 1.1310 |
| | 7 | Villa San Francisco | Villa San Francisco | 190 | 1 | 1.1730 |
| | 8 | Acoyapa | Acoyapa | 169 | 1 | 1.1697 |
| | 9 | San Francisco de Cuapa | Cuapa | 152 | 1 | 1.1010 |
| | 10 | El Coral | El Coral | 239 | 2 | 1.2048 |
| Rio San Juan | 1 | Morrito | Morrito | 232 | 2 | 1.225 |
| | 2 | El Almendro | El Almendro | 282 | 2 | 1.2484 |
| | 3 | San Miguelito | San Miguelito | 248 | 2 | 1.2302 |
| | 4 | San Carlos | San Carlos | 301 | 2 | 1.2579 |
| | 5 | El Castillo | Boca de Sábalo | 350 | 4 | 1.8413 |
| | 6 | San Juan de Nicaragua | Greytown | 470 | 4 | 1.8605 |
| Total de Municipios de la Región Central Sur | 22 | | | | | |

Fuente: (El Nuevo Fise, Manual de Administración del Ciclo del Proyecto, 2007).

Comparación Técnico–Económica del Uso de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible en Nicaragua. Estudio de Caso: Tramo Unikwas-Mulukuku

| Factor de Transporte a las Cabeceras Municipales de las Regiones Autónomas | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| Región | Municipios por Región | | Cabecera Municipal | Distancia desde Managua (Km) | Grado de Dificultad en el Acceso | Factor de Transporte |
| RAAS | 1 | El Ayote | El Ayote | 231 | 2 | 1.2341 |
| | 2 | El Rama | Ciudad Rama | 292 | 2 | 1.2509 |
| | 3 | Muelle de los Bueyes | Muelle de los Bueyes | 250 | 2 | 1.2372 |
| | 4 | Nueva Guinea | Nueva Guinea | 283 | 2 | 1.2779 |
| | 5 | Paiwas | Bocana de Paiwas | 220 | 2 | 1.2079 |
| | 6 | Bluefields | Bluefields | 383 | 4 | 1.7234 |
| | 7 | Corn Island | Corn Island | | 4 | 1.8120 |
| | 8 | La Cruz de Rio Grande | La Cruz de Rio Grande | 450 | 5 | 1.8918 |
| | 9 | Desembocadura de la Cruz de Rio Grande | Karawala | 470 | 5 | 1.7898 |
| | 10 | Laguna de Perlas | Laguna de Perlas | 475 | 5 | 1.7626 |
| | 11 | El Tortuguero | Nuevo Amanecer | 530 | 4 | 1.8625 |
| | 12 | Kukra Hill | Kukra Hill | 300 | 1 | 1.3028 |
| RAAN | 1 | Waslala | Waslala | 241 | 2 | 1.2814 |
| | 2 | Mulukuku | Mulukuku | 266 | 2 | 1.2876 |
| | 3 | Siuna | Siuna | 338 | 3 | 1.4178 |
| | 4 | Rosita | Rosita | 416 | 3 | 1.5171 |
| | 5 | Bonanza | Bonanza | 440 | 3 | 1.4955 |
| | 6 | Puerto Cabezas | Bilwi | 560 | 3 | 1.592 |
| | 7 | Prinzapolka | Alamikamba | 392 | 3 | 1.8009 |
| | 8 | Waspam | Waspam | 632 | 3 | 1.5155 |
| Total de Municipios de las Regiones Autónomas del Atlántico Sur y Norte | 17 | | | | | |

Fuente: (El Nuevo Fise, Manual de Administracion del Ciclo del Proyecto, 2007).

Anexo 2. Tablas de costos

Anexo 2-1. Maestro de costos nuevo FISE 2015

| Actividad | Costo |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Acarreo de arena con volquete | 487.34C\$ |
| Acarreo de materias selecto con volquete a 1km | 95.543C\$ |
| Alcantarilla de concreto reforzado de (0.8x0.6x0.6) | 3096.4C\$ |
| Botar tierra sobrante con volquete a 11km | 219C\$/m ³ |
| Conformación y compactación de calles con motoniveladora y vibro compactadora | 50.447C\$/m ³ |
| Descapote con tractor D-6 material arcilloso | 32.9C\$/m ³ |
| Escarificar y compactar para colocar base | 152.6C\$/m ³ |
| Escarificación de tierra con motoniveladora con e=0.2m | 5.46C\$/M ² |
| Excavación con tractor sobre orugas terreno arcilloso | 54.54C\$/m ³ |
| Limpieza final con camión volquete | 10.5C\$/ml |
| Relleno y compactación con módulo 60% hormigón rojo y 40% material selecto | 195.79C\$/m ³ |
| Trazo de líneas de la calle incluye topografía | 34.8C\$/ml |
| Tubo de concreto reforzado de 42" c-11 | 4375.65C\$/ml |
| Tubo de concreto de 60" C-11 | 7632.65C\$/ml |
| Bordillo de concreto 2500psi (0.3x0.5) | 401.7C\$/ml |
| Carpeta de mezcla asfáltica en caliente asfalto AC-20 | 3080.6C\$/m ³ |
| Mezcla asfáltica con piedrín y asfalto RC-250 e=5cm | 123.5C\$/M ² |

Fuente: (FISE, 2015).

Anexos 2-2. Costos del concreto y agregados

| | |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Concreto de concreto de cemento hidráulico de 3000psi | 130\$/m ³ |
| Concreto de 4000psi | 140\$/m ³ |
| Concreto de 5000psi | 155\$/m ³ |
| Mezcla asfáltica en caliente | \$ 106/m ³ |
| Mezcla asfáltica en frío | \$115/m ³ . |
| Grava | 18 C\$ lata 950C\$/M ³ |
| Arena | 15C\$ /lata 600C\$/m ³ |
| Cemento | 171C\$ bls en planta 260C\$bls ferretería |
| | |

Fuente:(HOLCIM).

Anexo 2-3. Costos requeridos por Mano de obra.

Memoria de costos unitarios (LLANSA INGENIEROS SA)

| Bacheo superficial de pavimento bituminoso en frio | | |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Equipo | Unidad de medida | Costo unitario C\$ |
| Camión volquete | Hr | 488.5C\$ |
| Camión Asfaltador | Hr | 440.30C\$ |
| Compactadora manual | Hr | 140.63C\$ |
| Compresor | Hr | 217.79 |
| Camión plataforma | Hr | 338.79C\$ |
| Fresadora de pavimento | Hr | 812.98C\$ |
| Personal | | |
| Camión volquete | HR | 33.83C\$ |
| Camión Asfaltador | HR | 37.31C\$ |
| Compactadora manual | HR | 28.85C\$ |
| Compresor | HR | 28.85C\$ |
| Camión plataforma | HR | 29.85C\$ |
| Fresadora de pavimento | HR | 32.33C\$ |
| Ayudante | HR | 28.85C\$ |
| Capataz | | 51.12 |
| Prestaciones sociales | | 16095.64 |
| Viáticos | | 12287.86 |
| Materiales | | |
| Emulsión CRS-2P | Gal | 67.83 |
| Mezcla asfáltica | Ton | 1926.47 |
| Combustible | Gal | 90.84 |
| Herramientas | Gal | 4500 |
| | | |

Fuente: (LLANSAINGENIEROS, 2015).

Anexo 2-4 Costos por actividades de construcción y mantenimiento.

Anexo 2-4-1 Reparación en zonas de inestabilidad local sin reparación de carpeta

| Equipo | Unidad de medida | Costo unitario en C\$ |
|-----------------------|-------------------------|------------------------------|
| Camión volquete | Hr | 488.45 |
| Cargadora | Hr | 642.49 |
| Compactadora manual | Hr | 140.63 |
| Cisterna maz | Hr | 395.69 |
| Bomba de succión | Hr | 81.4 |
| Rastra taino | Hr | 286.56 |
| Retroexcavadora | Hr | 590.66 |
| Personal | | |
| Camión volquete | Hr | 33.83 |
| Cargadora | Hr | 32.33 |
| Compactadora manual | Hr | 28.85 |
| Cisterna maz | Hr | 32.33 |
| Bomba de succión | H | 28.85 |
| Ayudante | Rh | 51.12 |
| Capataz | Hr | 30.84 |
| Retroexcavadora | Hr | 30.84 |
| Prestaciones sociales | | 24560 |
| Viáticos | | 18453 |
| Materiales | | |
| Cemento | Bls | 131 en planta |
| Material de base | M ³ | 352.73 |
| Combustible | Gal | 90.84 |
| | | |

Fuente: (LANSAINGENIEROS, 2015).

Aneo 2-4-2 Costos unitarios por tratamiento superficial simple.

| Equipo | Unidad de medida | Costo unitario en C\$ |
|---------------------------|------------------|-----------------------|
| Camión volquete | Hr | 488.45 |
| Compactadora | Hr | 559.69 |
| Camión Asfaltador | Hr | 440.3 |
| Distribuidor de aridos | Hr | 488.45 |
| Barredora | Hr | 325.61 |
| Compresor | Hr | 217.79 |
| Personal | | |
| Camión volquete | Hr | 33.83 |
| Compactadora | Hr | 33.83 |
| Camión asfaltador | Hr | 37.31 |
| Distribuidor de aridos | Hr | 33.83 |
| Barredora | Hr | 29.85 |
| Compresor | Hr | 28.85 |
| Capataz | Hr | 51.12 |
| Ayudante | Hr | 28.85 |
| Prestaciones sociales | Hr | 33780 |
| Viáticos | | 24235 |
| Materiales | | |
| Material triturado | M ³ | 542.67 |
| Emulsion asfáltica CRS-2P | Gln | 67.83 |
| Herramienta | Glb | 5000 |
| Combustible | Gln | 90.84 |

Fuente: (LANSAINGENIEROS, 2015).

Anexo 2-4-3. Costos por Movilización y desmovilización de equipos

| Equipo | Unidad de medida | Costos unitarios C\$ |
|-----------------------|------------------|----------------------|
| Camión cabezal | Hr | 316.42 |
| Rastra Taino | Hr | 286.56 |
| Personal | | |
| Camión cabezal | Hr | 42.28 |
| Ayudantes | Hr | 28.85 |
| Prestaciones sociales | | 976 |
| Viáticos | | 738 |
| Materiales | | |
| Combustible | Glb | 90.84 |

Fuente: (LANSAINGENIEROS, 2015).

Anexo 2-4.4 Costos por mantenimiento rutinario Pintura de línea continúa

| Equipo | Unidad | Costo unitario C\$ |
|-----------------------|---------------|---------------------------|
| Camión plataforma | Hr | 338.49 |
| Maquina rayadora | Hr | 488.45 |
| Personal | | |
| Camión plataforma | Hr | 29.85 |
| Maquina rayadora | Hr | 33.83 |
| Capataz | Hr | 51.12 |
| Ayudante | Hr | 28.85 |
| Punteo | Km | 649.09 |
| Prestaciones sociales | | 9623 |
| Viáticos | | 1856.95 |
| Materiales | | |
| Pintura trafico | Gln | 596.93 |
| Diluyente trafico | Gln | 135.67 |
| Esfera de vidrio | Lbs | 23.06 |
| Combustible | Glb | 90.84 |

Fuente: (LANSAINGENIEROS, 2015).

Anexo 2-4.5 Costos por mantenimiento rutinario Simbología de pavimentos

| Equipo | Unidad de medida | Costo unitario en C\$ |
|-----------------------|-------------------------|------------------------------|
| Camión plataforma | Hr | 338.49 |
| Maquina rayadora | Hr | 488.45 |
| Personal | | |
| Camión plataforma | Hr | 29.85 |
| Máquina de rayar | Hr | 33.83 |
| Capataz | | 51.12 |
| Ayudante | | 28.85 |
| Prestaciones sociales | | 1084 |
| Viáticos | | 703 |
| Materiales | | |
| Pintura trafico | Gln | 596.93 |
| Diluyente trafico | Gln | 135.67 |
| Esfera de vidrio | Lbs | 23 |
| Combustible | Glb | 90.84 |

Fuente: (LANSAINGENIEROS, 2015).

Anexo 2-4-6 Actividades de señalización con igual costos unitarios:

- Señalización vertical sencilla nueva
- Zona escolar
- Zona escolar a 100m
- Escuela a 25km/h velocidad máxima
- Cruce escolar

| Equipo | Unidad de medida | Costos unitarios C\$ |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Camión plataforma | Hr | 338.49 |
| Compresor | Hr | 217.79 |
| Personal | | |
| Camión plataforma | Hr | 29.85 |
| Compresor | Hr | 28.85 |
| Pintor | Hr | 51.12 |
| Operarios | Hr | 28.85 |
| Prestaciones sociales | | 4570 |
| Viáticos | | 2660 |
| Materiales | | |
| Lamina metálica | unidad | 549.95 |
| Poste metálico | unidad | 659.34 |
| Papel Reflectivo | M ² | 541.31 |
| Pintura anticorrosiva | Gln | 366.84 |
| Cartulina | unidad | 12.36 |
| Hilaza | Lb | 5.7 |
| Pintura fast dry | Gln | 379.87 |
| Pernos 21/2"x1/4 | unidad | 8.82 |
| Cemento | Bls | 171.21 |
| Piedra triturada | M ³ | 407 |
| Arena | M ³ | 147 |
| Combustible | Glb | 90.84 |

Fuente: (LANSAINGENIEROS, 2015).

Anexo 2-4-7 Instalación de postes guías

| Equipo | unidad | Costo unitario C\$ |
|-----------------------|---------------|---------------------------|
| Camion plataforma | Hr | 338.49 |
| Personal | | |
| Camión plataforma | Hr | 29.85 |
| Mezcladora | Hr | 30.84 |
| Capataz | Hr | 51.12 |
| Prestaciones sociales | | 8536 |
| Viáticos | | 6258 |
| Materiales | | |
| Ayudante | Hr | |
| Pintura fast dry | Gln | 350 |
| Cemento | Bls | 171 |
| Combustible | Glb | 90.84 |

Fuente: (LANSAINGENIEROS, 2015).

Anexo 2-4-8 Costos unitarios por Suministro y colocación de defensas metálicas

| Equipo | Unidad de medida | Costos unitario en C\$ |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Camión plataforma | Hr | 338.49 |
| Personal | | |
| Camión plataforma | Hr | 29.85 |
| Capataz | Hr | 51.12 |
| Ayudante | Hr | 28.85 |
| Prestaciones sociales | | 4927 |
| Viáticos | | 4275 |
| Materiales | | |
| Pernos 21/2"x1/4" | Und | 7 |
| Cemento | Bls | 184.51 |
| Piedra triturada | M ³ | 407 |
| Arena | M ³ | 147 |
| Defensa metálica | MI | 1221 |
| Combustible | Glb | 90.84 |

Fuente: (LANSAINGENIEROS, 2015).

Anexo 3. Factores equivalentes de cargas para pavimento rígido.

Anexo 3-1 Factor Equivalente de carga para ejes simples pt=2.

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Simples), Pt=2.0 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (25.4mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 |
| 4 | 17.8 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 |
| 6 | 26.7 | 0.0110 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 |
| 8 | 35.6 | 0.0350 | 0.0330 | 0.0320 | 0.0320 | 0.0320 | 0.0320 | 0.0320 | 0.0320 | 0.0320 |
| 10 | 44.5 | 0.0870 | 0.0840 | 0.0820 | 0.0810 | 0.0800 | 0.0800 | 0.0800 | 0.0800 | 0.0800 |
| 12 | 53.4 | 0.1860 | 0.1800 | 0.1760 | 0.1750 | 0.1740 | 0.1740 | 0.1730 | 0.1730 | 0.1730 |
| 14 | 62.3 | 0.3530 | 0.3460 | 0.3410 | 0.3380 | 0.3370 | 0.3360 | 0.3360 | 0.3360 | 0.3360 |
| 16 | 71.2 | 0.6140 | 0.6090 | 0.6040 | 0.6010 | 0.5990 | 0.5990 | 0.5980 | 0.5980 | 0.5980 |
| 18 | 80 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 20 | 89 | 1.5500 | 1.5600 | 1.5700 | 1.5800 | 1.5800 | 1.5900 | 1.5900 | 1.5900 | 1.5900 |
| 22 | 97.9 | 2.3200 | 2.3200 | 2.3500 | 2.3800 | 2.4000 | 2.4100 | 2.4100 | 2.4100 | 2.4200 |
| 24 | 106.8 | 3.3700 | 3.3400 | 3.4000 | 3.4700 | 3.5100 | 3.5300 | 3.5400 | 3.5500 | 3.5500 |
| 26 | 115.7 | 4.7600 | 4.6900 | 4.7700 | 4.8800 | 4.9700 | 5.0200 | 5.0400 | 5.0600 | 5.0600 |
| 28 | 124.6 | 6.5800 | 6.4400 | 6.5200 | 6.7000 | 6.8500 | 6.9400 | 7.0000 | 7.0200 | 7.0400 |
| 30 | 133.5 | 8.9200 | 8.6800 | 8.7400 | 8.9800 | 9.2300 | 9.3900 | 9.4800 | 9.5400 | 9.5600 |
| 32 | 142.4 | 11.9000 | 11.5000 | 11.5000 | 11.8000 | 12.2000 | 12.4000 | 12.6000 | 12.7000 | 12.7000 |
| 34 | 151.3 | 15.5000 | 15.0000 | 14.9000 | 15.3000 | 15.8000 | 16.2000 | 16.4000 | 16.6000 | 16.7000 |
| 36 | 160 | 20.1000 | 19.3000 | 19.2000 | 19.5000 | 20.1000 | 20.7000 | 21.1000 | 21.4000 | 21.5000 |
| 38 | 169.1 | 25.6000 | 24.5000 | 24.3000 | 24.6000 | 25.4000 | 26.1000 | 26.7000 | 27.1000 | 27.4000 |
| 40 | 178 | 32.2000 | 30.8000 | 30.4000 | 30.7000 | 31.6000 | 32.6000 | 33.4000 | 34.0000 | 34.4000 |
| 42 | 186.9 | 40.1000 | 38.4000 | 37.7000 | 38.0000 | 38.9000 | 40.1000 | 41.3000 | 42.1000 | 42.7000 |
| 44 | 195.8 | 49.4000 | 47.3000 | 46.4000 | 46.6000 | 47.6000 | 49.0000 | 50.4000 | 51.6000 | 52.4000 |
| 46 | 204.7 | 60.4000 | 57.7000 | 56.6000 | 56.7000 | 57.7000 | 59.3000 | 61.1000 | 62.6000 | 63.7000 |
| 48 | 213.6 | 73.2000 | 69.9000 | 68.4000 | 68.4000 | 69.4000 | 71.2000 | 73.3000 | 75.3000 | 76.8000 |
| 50 | 222.5 | 88.0000 | 84.1000 | 82.2000 | 82.0000 | 83.0000 | 84.9000 | 87.4000 | 89.8000 | 91.7000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 3-2 Factor equivalente de carga para ejes Tándem pt=2.

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Tándem), Pt=2.0 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (254mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 4 | 17.8 | 0.0006 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 |
| 6 | 26.7 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 |
| 8 | 35.6 | 0.0060 | 0.0060 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 |
| 10 | 44.5 | 0.0140 | 0.0130 | 0.0130 | 0.0120 | 0.0120 | 0.0120 | 0.0120 | 0.0120 | 0.0120 |
| 12 | 53.4 | 0.0280 | 0.0260 | 0.0260 | 0.0250 | 0.0250 | 0.0250 | 0.0250 | 0.0250 | 0.0250 |
| 14 | 62.3 | 0.0510 | 0.0490 | 0.0480 | 0.0470 | 0.0470 | 0.0470 | 0.0470 | 0.0470 | 0.0470 |
| 16 | 71.2 | 0.0870 | 0.0840 | 0.0820 | 0.0810 | 0.0810 | 0.0800 | 0.0800 | 0.0800 | 0.0800 |
| 18 | 80 | 0.1410 | 0.1360 | 0.1330 | 0.1320 | 0.1310 | 0.1310 | 0.1310 | 0.1310 | 0.1310 |
| 20 | 89 | 0.2160 | 0.2100 | 0.2060 | 0.2040 | 0.2030 | 0.2030 | 0.2030 | 0.2030 | 0.2030 |
| 22 | 97.9 | 0.3190 | 0.3130 | 0.3070 | 0.3050 | 0.3040 | 0.3030 | 0.3030 | 0.3030 | 0.3030 |
| 24 | 106.8 | 0.4540 | 0.4490 | 0.4440 | 0.4410 | 0.4400 | 0.4390 | 0.4390 | 0.4390 | 0.4390 |
| 26 | 115.7 | 0.6290 | 0.6260 | 0.6220 | 0.6200 | 0.6180 | 0.6180 | 0.6180 | 0.6180 | 0.6180 |
| 28 | 124.6 | 0.8520 | 0.8510 | 0.8500 | 0.8500 | 0.8500 | 0.8490 | 0.8490 | 0.8490 | 0.8490 |
| 30 | 133.5 | 1.1300 | 1.1300 | 1.1400 | 1.1400 | 1.1400 | 1.1400 | 1.1400 | 1.1400 | 1.1400 |
| 32 | 142.4 | 1.4800 | 1.4800 | 1.4900 | 1.5000 | 1.5100 | 1.5100 | 1.5100 | 1.5100 | 1.5100 |
| 34 | 151.3 | 1.9000 | 1.9000 | 1.9300 | 1.9500 | 1.9600 | 1.9700 | 1.9700 | 1.9700 | 1.9700 |
| 36 | 160 | 2.4200 | 2.4100 | 2.4500 | 2.4900 | 2.5100 | 2.5200 | 2.5300 | 2.5300 | 2.5300 |
| 38 | 169.1 | 3.0400 | 3.0200 | 3.0700 | 3.1300 | 3.1700 | 3.1900 | 3.2000 | 3.2000 | 3.2100 |
| 40 | 178 | 3.7900 | 3.7400 | 3.8000 | 3.8900 | 3.9500 | 3.9800 | 4.0000 | 4.0100 | 4.0100 |
| 42 | 186.9 | 4.6700 | 4.5900 | 4.6600 | 4.7800 | 4.8700 | 4.9300 | 4.9500 | 4.9700 | 4.9700 |
| 44 | 195.8 | 5.7200 | 5.5900 | 5.6700 | 5.8200 | 5.9500 | 6.0300 | 6.0700 | 6.0900 | 6.1000 |
| 46 | 204.7 | 6.9400 | 6.7600 | 6.8300 | 7.0200 | 7.2000 | 7.3100 | 7.3700 | 7.4100 | 7.4300 |
| 48 | 213.6 | 8.3600 | 8.1200 | 8.1700 | 8.4000 | 8.6300 | 8.7900 | 8.8800 | 8.9300 | 8.9600 |
| 50 | 222.5 | 10.0000 | 9.6900 | 9.7200 | 9.9800 | 10.2700 | 10.4900 | 10.6200 | 10.6900 | 10.7300 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Continuación Anexo 3-2.

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Tándem), Pt=2.0 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (254mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 52 | 231.4 | 11.9000 | 11.5000 | 11.5000 | 11.8000 | 12.1000 | 12.4000 | 12.6000 | 12.7000 | 12.8000 |
| 54 | 240.3 | 14.0000 | 13.5000 | 13.5000 | 13.8000 | 14.2000 | 14.6000 | 14.9000 | 15.0000 | 15.1000 |
| 56 | 249.2 | 16.5000 | 15.9000 | 15.8000 | 16.1000 | 16.6000 | 17.1000 | 17.4000 | 17.6000 | 17.7000 |
| 58 | 258.1 | 19.3000 | 18.5000 | 18.4000 | 18.7000 | 19.3000 | 19.8000 | 20.3000 | 20.5000 | 20.7000 |
| 60 | 267.0 | 22.4000 | 21.5000 | 21.3000 | 21.6000 | 22.3000 | 22.9000 | 23.5000 | 23.8000 | 24.0000 |
| 62 | 275.9 | 25.9000 | 24.9000 | 24.6000 | 24.9000 | 25.6000 | 26.4000 | 27.0000 | 27.5000 | 27.7000 |
| 64 | 284.7 | 29.9000 | 28.6000 | 28.2000 | 28.5000 | 29.3000 | 30.2000 | 31.0000 | 31.6000 | 31.9000 |
| 66 | 293.6 | 34.3000 | 32.8000 | 32.3000 | 32.6000 | 33.4000 | 34.4000 | 35.4000 | 36.1000 | 36.5000 |
| 68 | 302.5 | 39.2000 | 37.5000 | 36.8000 | 37.1000 | 37.9000 | 39.1000 | 40.2000 | 41.1000 | 41.6000 |
| 70 | 311.4 | 44.6000 | 42.7000 | 41.9000 | 42.1000 | 42.9000 | 44.2000 | 45.5000 | 46.6000 | 47.3000 |
| 72 | 320.3 | 50.6000 | 48.4000 | 47.5000 | 47.6000 | 48.5000 | 49.9000 | 51.4000 | 52.6000 | 53.5000 |
| 74 | 329.2 | 57.3000 | 54.7000 | 53.6000 | 53.6000 | 54.6000 | 56.1000 | 57.7000 | 59.2000 | 60.3000 |
| 76 | 338.1 | 64.6000 | 61.7000 | 60.4000 | 60.3000 | 61.2000 | 62.8000 | 64.7000 | 66.4000 | 67.7000 |
| 78 | 347.0 | 72.5000 | 69.3000 | 67.8000 | 67.7000 | 68.6000 | 70.2000 | 72.3000 | 74.3000 | 75.8000 |
| 80 | 355.9 | 81.3000 | 77.6000 | 75.9000 | 75.7000 | 76.6000 | 78.3000 | 80.6000 | 82.8000 | 84.7000 |
| 82 | 364.8 | 90.9000 | 86.7000 | 84.7000 | 84.4000 | 85.3000 | 87.1000 | 89.6000 | 92.1000 | 94.2000 |
| 84 | 373.7 | 101.0000 | 97.0000 | 94.0000 | 94.0000 | 95.0000 | 97.0000 | 99.0000 | 102.0000 | 105.0000 |
| 86 | 382.6 | 113.0000 | 107.0000 | 105.0000 | 104.0000 | 105.0000 | 107.0000 | 110.0000 | 113.0000 | 116.0000 |
| 88 | 391.5 | 125.0000 | 119.0000 | 116.0000 | 116.0000 | 116.0000 | 118.0000 | 121.0000 | 125.0000 | 128.0000 |
| 90 | 400.4 | 138.0000 | 132.0000 | 129.0000 | 128.0000 | 129.0000 | 131.0000 | 134.0000 | 137.0000 | 141.0000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 3-3 Factor equivalente de carga para ejes Tridem Pt=2.

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Tridem), Pt=2.0 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (254mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 4 | 17.8 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 |
| 6 | 26.7 | 0.0010 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0009 |
| 8 | 35.6 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 |
| 10 | 44.5 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 |
| 12 | 53.4 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0090 | 0.0090 | 0.0090 | 0.0090 | 0.0090 | 0.0090 | 0.0090 |
| 14 | 62.3 | 0.0180 | 0.0170 | 0.0170 | 0.0160 | 0.0160 | 0.0160 | 0.0160 | 0.0160 | 0.0160 |
| 16 | 71.2 | 0.0300 | 0.0290 | 0.0280 | 0.0270 | 0.0270 | 0.0270 | 0.0270 | 0.0270 | 0.0270 |
| 18 | 80 | 0.0470 | 0.0450 | 0.0440 | 0.0440 | 0.0430 | 0.0430 | 0.0430 | 0.0430 | 0.0430 |
| 20 | 89 | 0.0720 | 0.0690 | 0.0670 | 0.0660 | 0.0660 | 0.0660 | 0.0660 | 0.0660 | 0.0660 |
| 22 | 97.9 | 0.1050 | 0.1010 | 0.0990 | 0.0980 | 0.0970 | 0.0970 | 0.0970 | 0.0970 | 0.0970 |
| 24 | 106.8 | 0.1490 | 0.1440 | 0.1410 | 0.1390 | 0.1390 | 0.1380 | 0.1380 | 0.1380 | 0.1380 |
| 26 | 115.7 | 0.2050 | 0.1990 | 0.1950 | 0.1940 | 0.1930 | 0.1920 | 0.1920 | 0.1920 | 0.1920 |
| 28 | 124.6 | 0.2760 | 0.2700 | 0.2650 | 0.2630 | 0.2620 | 0.2620 | 0.2620 | 0.2620 | 0.2610 |
| 30 | 133.5 | 0.3640 | 0.3590 | 0.3540 | 0.3510 | 0.3500 | 0.3490 | 0.3490 | 0.3490 | 0.3490 |
| 32 | 142.4 | 0.4720 | 0.4680 | 0.4630 | 0.4600 | 0.4590 | 0.4580 | 0.4580 | 0.4580 | 0.4580 |
| 34 | 151.3 | 0.6030 | 0.6000 | 0.5960 | 0.5940 | 0.5930 | 0.5920 | 0.5920 | 0.5920 | 0.5920 |
| 36 | 160 | 0.7590 | 0.7580 | 0.7570 | 0.7560 | 0.7550 | 0.7550 | 0.7550 | 0.7550 | 0.7550 |
| 38 | 169.1 | 0.9460 | 0.9470 | 0.9490 | 0.9500 | 0.9510 | 0.9510 | 0.9510 | 0.9510 | 0.9510 |
| 40 | 178 | 1.1700 | 1.1700 | 1.1800 | 1.1800 | 1.1800 | 1.1800 | 1.1800 | 1.1800 | 1.1900 |
| 42 | 186.9 | 1.4200 | 1.4300 | 1.4400 | 1.4500 | 1.4600 | 1.4600 | 1.4600 | 1.4600 | 1.4600 |
| 44 | 195.8 | 1.7300 | 1.7300 | 1.7500 | 1.7700 | 1.7800 | 1.7800 | 1.7800 | 1.7900 | 1.7900 |
| 46 | 204.7 | 2.0800 | 2.0700 | 2.1000 | 2.1300 | 2.1500 | 2.1600 | 2.1600 | 2.1600 | 2.1700 |
| 48 | 213.6 | 2.4800 | 2.4700 | 2.5100 | 2.5500 | 2.5800 | 2.5900 | 2.6000 | 2.6000 | 2.6100 |
| 50 | 222.5 | 2.9500 | 2.9200 | 2.9700 | 3.0300 | 3.0700 | 3.0900 | 3.1000 | 3.1100 | 3.1100 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Continuación del anexo 3-3

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Tridem), Pt=2.0 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (254mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 52 | 231.4 | 3.4800 | 3.4400 | 3.5000 | 3.5800 | 3.6300 | 3.6600 | 3.6800 | 3.6900 | 3.6900 |
| 54 | 240.3 | 4.0900 | 4.0300 | 4.0900 | 4.2000 | 4.2700 | 4.3100 | 4.3300 | 4.3500 | 4.3500 |
| 56 | 249.2 | 4.7800 | 4.6900 | 4.7600 | 4.8900 | 4.9900 | 5.0500 | 5.0800 | 5.0900 | 5.1000 |
| 58 | 258.1 | 5.5700 | 5.4400 | 5.5100 | 5.6600 | 5.7900 | 5.8700 | 5.9100 | 5.9400 | 5.9500 |
| 60 | 267.0 | 6.4500 | 6.2900 | 6.3500 | 6.5300 | 6.6900 | 6.7900 | 6.8500 | 6.8800 | 6.9000 |
| 62 | 275.9 | 7.4300 | 7.2300 | 7.2800 | 7.4900 | 7.6900 | 7.8200 | 7.9000 | 7.9400 | 7.9700 |
| 64 | 284.7 | 8.5400 | 8.2800 | 8.3200 | 8.5500 | 8.8000 | 8.9700 | 9.0700 | 9.1300 | 9.1600 |
| 66 | 293.6 | 9.7600 | 9.4600 | 9.4800 | 9.7300 | 10.0200 | 10.2400 | 10.3700 | 10.4400 | 10.4800 |
| 68 | 302.5 | 11.1000 | 10.8000 | 10.8000 | 11.0000 | 11.4000 | 11.6000 | 11.8000 | 11.9000 | 12.0000 |
| 70 | 311.4 | 12.6000 | 12.2000 | 12.2000 | 12.5000 | 12.8000 | 13.2000 | 13.4000 | 13.5000 | 13.6000 |
| 72 | 320.3 | 14.3000 | 13.8000 | 13.7000 | 14.0000 | 14.5000 | 14.9000 | 15.1000 | 15.3000 | 15.5000 |
| 74 | 329.2 | 16.1000 | 15.5000 | 15.4000 | 15.7000 | 16.2000 | 16.7000 | 17.0000 | 17.2000 | 17.3000 |
| 76 | 338.1 | 18.2000 | 17.5000 | 17.3000 | 17.6000 | 18.2000 | 18.7000 | 19.1000 | 19.3000 | 19.5000 |
| 78 | 347.0 | 20.4000 | 19.6000 | 19.4000 | 19.7000 | 20.3000 | 20.9000 | 21.4000 | 21.7000 | 21.8000 |
| 80 | 355.9 | 22.8000 | 21.9000 | 21.6000 | 21.9000 | 22.6000 | 23.3000 | 23.8000 | 24.2000 | 24.4000 |
| 82 | 364.8 | 25.4000 | 24.4000 | 24.1000 | 24.4000 | 25.0000 | 25.8000 | 26.5000 | 26.9000 | 27.2000 |
| 84 | 373.7 | 28.3000 | 27.1000 | 26.7000 | 27.0000 | 27.7000 | 28.6000 | 29.4000 | 29.9000 | 30.2000 |
| 86 | 382.6 | 31.4000 | 30.1000 | 29.6000 | 29.9000 | 30.7000 | 31.6000 | 32.5000 | 33.1000 | 33.5000 |
| 88 | 391.5 | 34.8000 | 33.3000 | 32.8000 | 33.0000 | 33.8000 | 34.8000 | 35.8000 | 36.6000 | 37.1000 |
| 90 | 400.4 | 38.5000 | 36.8000 | 36.2000 | 36.4000 | 37.2000 | 38.3000 | 39.4000 | 40.3000 | 40.9000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 3-4 Factores equivalentes de cargas para ejes simples pt=2.5

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Simples), Pt=2.5 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (25.4mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 |
| 4 | 17.8 | 0.0030 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 |
| 6 | 26.7 | 0.0120 | 0.0110 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 |
| 8 | 35.6 | 0.0390 | 0.0350 | 0.0330 | 0.0320 | 0.0320 | 0.0320 | 0.0320 | 0.0320 | 0.0320 |
| 10 | 44.5 | 0.0970 | 0.0890 | 0.0840 | 0.0820 | 0.0810 | 0.0800 | 0.0800 | 0.0800 | 0.0800 |
| 12 | 53.4 | 0.2030 | 0.1890 | 0.1810 | 0.1760 | 0.1750 | 0.1740 | 0.1740 | 0.1730 | 0.1730 |
| 14 | 62.3 | 0.3760 | 0.3600 | 0.3470 | 0.3410 | 0.3380 | 0.3370 | 0.3360 | 0.3360 | 0.3360 |
| 16 | 71.2 | 0.6340 | 0.6230 | 0.6100 | 0.6040 | 0.6010 | 0.5990 | 0.5990 | 0.5990 | 0.5980 |
| 18 | 80 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 20 | 89 | 1.5100 | 1.5200 | 1.5500 | 1.5700 | 1.5800 | 1.5800 | 1.5900 | 1.5900 | 1.5900 |
| 22 | 97.9 | 2.2100 | 2.2000 | 2.2800 | 2.3400 | 2.3800 | 2.4000 | 2.4100 | 2.4100 | 2.4100 |
| 24 | 106.8 | 3.1600 | 3.1000 | 3.2200 | 3.3600 | 3.4500 | 3.5000 | 3.5300 | 3.5400 | 3.5500 |
| 26 | 115.7 | 4.4100 | 4.2600 | 4.4200 | 4.6700 | 4.8500 | 4.9500 | 5.0100 | 5.0400 | 5.0500 |
| 28 | 124.6 | 6.0500 | 5.7600 | 5.9200 | 6.2900 | 6.6100 | 6.8100 | 6.9200 | 6.9800 | 7.0100 |
| 30 | 133.5 | 8.1600 | 7.6700 | 7.7900 | 8.2800 | 8.7900 | 9.1400 | 9.3500 | 9.4600 | 9.5200 |
| 32 | 142.4 | 10.8000 | 10.1000 | 10.1000 | 10.7000 | 11.4000 | 12.0000 | 12.3000 | 12.6000 | 12.7000 |
| 34 | 151.3 | 14.1000 | 13.0000 | 12.9000 | 13.6000 | 14.6000 | 15.4000 | 16.0000 | 16.4000 | 16.5000 |
| 36 | 160 | 18.2000 | 16.7000 | 16.4000 | 17.1000 | 18.3000 | 19.5000 | 20.4000 | 21.0000 | 21.3000 |
| 38 | 169.1 | 23.1000 | 21.1000 | 20.6000 | 21.3000 | 22.7000 | 24.3000 | 25.6000 | 26.4000 | 27.0000 |
| 40 | 178 | 29.1000 | 26.5000 | 25.7000 | 26.3000 | 27.9000 | 29.9000 | 31.6000 | 32.9000 | 33.7000 |
| 42 | 186.9 | 36.2000 | 32.9000 | 31.7000 | 32.2000 | 34.0000 | 36.3000 | 38.7000 | 40.4000 | 41.6000 |
| 44 | 195.8 | 44.6000 | 40.4000 | 38.8000 | 39.2000 | 41.0000 | 43.8000 | 46.7000 | 49.1000 | 50.8000 |
| 46 | 204.7 | 54.5000 | 49.3000 | 47.1000 | 47.3000 | 49.2000 | 52.3000 | 55.9000 | 59.0000 | 61.4000 |
| 48 | 213.6 | 66.1000 | 59.7000 | 56.9000 | 56.8000 | 58.7000 | 62.1000 | 66.3000 | 70.3000 | 73.4000 |
| 50 | 222.5 | 79.4000 | 71.7000 | 68.2000 | 67.8000 | 69.6000 | 73.3000 | 78.1000 | 83.0000 | 87.1000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 3-5 Factores equivalentes de cargas para ejes Tándem pt=2.5

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Tándem), Pt=2.5 | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (254mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 4 | 17.8 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 |
| 6 | 26.7 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 |
| 8 | 35.6 | 0.0070 | 0.0060 | 0.0060 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 |
| 10 | 44.5 | 0.0150 | 0.0140 | 0.0130 | 0.0130 | 0.0120 | 0.0120 | 0.0120 | 0.0120 | 0.0120 |
| 12 | 53.4 | 0.0310 | 0.0280 | 0.0260 | 0.0260 | 0.0250 | 0.0250 | 0.0250 | 0.0250 | 0.0250 |
| 14 | 62.3 | 0.0570 | 0.0520 | 0.0490 | 0.0480 | 0.0470 | 0.0470 | 0.0470 | 0.0470 | 0.0470 |
| 16 | 71.2 | 0.0970 | 0.0890 | 0.0840 | 0.0820 | 0.0810 | 0.0810 | 0.0800 | 0.0800 | 0.0800 |
| 18 | 80 | 0.1550 | 0.1430 | 0.1360 | 0.1330 | 0.1320 | 0.1310 | 0.1310 | 0.1310 | 0.1310 |
| 20 | 89 | 0.2340 | 0.2200 | 0.2110 | 0.2060 | 0.2040 | 0.2030 | 0.2030 | 0.2030 | 0.2030 |
| 22 | 97.9 | 0.3400 | 0.3250 | 0.3130 | 0.3080 | 0.3050 | 0.3040 | 0.3030 | 0.3030 | 0.3030 |
| 24 | 106.8 | 0.4750 | 0.4620 | 0.4500 | 0.4440 | 0.4410 | 0.4400 | 0.4390 | 0.4390 | 0.4390 |
| 26 | 115.7 | 0.6440 | 0.6370 | 0.6270 | 0.6220 | 0.6200 | 0.6190 | 0.6180 | 0.6180 | 0.6180 |
| 28 | 124.6 | 0.8550 | 0.8540 | 0.8520 | 0.8500 | 0.8500 | 0.8500 | 0.8490 | 0.8490 | 0.8490 |
| 30 | 133.5 | 1.1100 | 1.1200 | 1.1300 | 1.1400 | 1.1400 | 1.1400 | 1.1400 | 1.1400 | 1.1400 |
| 32 | 142.4 | 1.4300 | 1.4400 | 1.4700 | 1.4900 | 1.5000 | 1.5100 | 1.5100 | 1.5100 | 1.5100 |
| 34 | 151.3 | 1.8200 | 1.8200 | 1.8700 | 1.9200 | 1.9500 | 1.9600 | 1.9700 | 1.9700 | 1.9700 |
| 36 | 160 | 2.2900 | 2.2700 | 2.3500 | 2.4300 | 2.4800 | 2.5100 | 2.5200 | 2.5200 | 2.5300 |
| 38 | 169.1 | 2.8500 | 2.8000 | 2.9100 | 3.0300 | 3.1200 | 3.1600 | 3.1800 | 3.2000 | 3.2000 |
| 40 | 178 | 3.5200 | 3.4200 | 3.5500 | 3.7400 | 3.8700 | 3.9400 | 3.9800 | 4.0000 | 4.0100 |
| 42 | 186.9 | 4.3200 | 4.1600 | 4.3000 | 4.5500 | 4.7400 | 4.8600 | 4.9100 | 4.9500 | 4.9600 |
| 44 | 195.8 | 5.2600 | 5.0100 | 5.1600 | 5.4800 | 5.7500 | 5.9200 | 6.0100 | 6.0600 | 6.0900 |
| 46 | 204.7 | 6.3600 | 6.0100 | 6.1400 | 6.5300 | 6.9000 | 7.1400 | 7.2800 | 7.3600 | 7.4000 |
| 48 | 213.6 | 7.6400 | 7.1600 | 7.2700 | 7.7300 | 8.2100 | 8.5500 | 8.7500 | 8.8600 | 8.9200 |
| 50 | 222.5 | 9.1100 | 8.5000 | 8.5500 | 9.0700 | 9.6800 | 10.1400 | 10.4200 | 10.5800 | 10.6600 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Continuación del anexo 3-5.

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Tándem), Pt=2.5 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (254mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 52 | 231.4 | 10.8000 | 10.0000 | 10.0000 | 10.6000 | 11.3000 | 11.9000 | 12.3000 | 12.5000 | 12.7000 |
| 54 | 240.3 | 12.8000 | 11.8000 | 11.7000 | 12.3000 | 13.2000 | 13.9000 | 14.5000 | 14.8000 | 14.9000 |
| 56 | 249.2 | 15.0000 | 13.8000 | 13.6000 | 14.2000 | 15.2000 | 16.2000 | 16.8000 | 17.3000 | 17.5000 |
| 58 | 258.1 | 17.5000 | 16.0000 | 15.7000 | 16.3000 | 17.5000 | 18.6000 | 19.5000 | 20.1000 | 20.4000 |
| 60 | 267.0 | 20.3000 | 18.5000 | 18.1000 | 18.7000 | 20.0000 | 21.4000 | 22.5000 | 23.2000 | 23.6000 |
| 62 | 275.9 | 23.5000 | 21.4000 | 20.8000 | 21.4000 | 22.8000 | 24.4000 | 25.7000 | 26.7000 | 27.3000 |
| 64 | 284.7 | 27.0000 | 24.6000 | 23.8000 | 24.4000 | 25.8000 | 27.7000 | 29.3000 | 30.5000 | 31.3000 |
| 66 | 293.6 | 31.0000 | 28.1000 | 27.1000 | 27.6000 | 29.2000 | 31.3000 | 33.2000 | 34.7000 | 35.7000 |
| 68 | 302.5 | 35.4000 | 32.1000 | 30.9000 | 31.3000 | 32.9000 | 35.2000 | 37.5000 | 39.3000 | 40.5000 |
| 70 | 311.4 | 40.3000 | 36.5000 | 35.0000 | 35.3000 | 37.0000 | 39.5000 | 42.1000 | 44.3000 | 45.9000 |
| 72 | 320.3 | 45.7000 | 41.4000 | 39.6000 | 39.8000 | 41.5000 | 44.2000 | 47.2000 | 49.8000 | 51.7000 |
| 74 | 329.2 | 51.7000 | 46.7000 | 44.6000 | 44.7000 | 46.4000 | 49.3000 | 52.7000 | 55.7000 | 58.0000 |
| 76 | 338.1 | 58.3000 | 52.6000 | 50.2000 | 50.1000 | 51.8000 | 54.9000 | 58.6000 | 62.1000 | 64.8000 |
| 78 | 347.0 | 65.5000 | 59.1000 | 56.3000 | 56.1000 | 57.7000 | 60.9000 | 65.0000 | 69.0000 | 72.3000 |
| 80 | 355.9 | 73.4000 | 66.2000 | 62.9000 | 62.5000 | 64.2000 | 67.5000 | 71.9000 | 76.4000 | 80.2000 |
| 82 | 364.8 | 82.0000 | 73.9000 | 70.2000 | 69.6000 | 71.2000 | 74.7000 | 79.4000 | 84.4000 | 88.8000 |
| 84 | 373.7 | 91.4000 | 82.4000 | 78.1000 | 77.3000 | 78.9000 | 82.4000 | 87.4000 | 93.0000 | 98.1000 |
| 86 | 382.6 | 102.0000 | 92.0000 | 87.0000 | 86.0000 | 87.0000 | 91.0000 | 96.0000 | 102.0000 | 108.0000 |
| 88 | 391.5 | 113.0000 | 102.0000 | 96.0000 | 95.0000 | 96.0000 | 100.0000 | 105.0000 | 112.0000 | 119.0000 |
| 90 | 400.4 | 125.0000 | 112.0000 | 106.0000 | 105.0000 | 106.0000 | 110.0000 | 115.0000 | 123.0000 | 130.0000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 3-6 Factor equivalente de carga para eje tridem pt=2.5

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Tridem), Pt=2.5 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (254mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 4 | 17.8 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 |
| 6 | 26.7 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 |
| 8 | 35.6 | 0.0030 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 |
| 10 | 44.5 | 0.0060 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 |
| 12 | 53.4 | 0.0110 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0090 | 0.0090 | 0.0090 | 0.0090 | 0.0090 | 0.0090 |
| 14 | 62.3 | 0.0200 | 0.0180 | 0.0170 | 0.0170 | 0.0160 | 0.0160 | 0.0160 | 0.0160 | 0.0160 |
| 16 | 71.2 | 0.0330 | 0.0300 | 0.0290 | 0.0280 | 0.0270 | 0.0270 | 0.0270 | 0.0270 | 0.0270 |
| 18 | 80 | 0.0530 | 0.0480 | 0.0450 | 0.0440 | 0.0440 | 0.0430 | 0.0430 | 0.0430 | 0.0430 |
| 20 | 89 | 0.0800 | 0.0730 | 0.0690 | 0.0670 | 0.0660 | 0.0660 | 0.0660 | 0.0660 | 0.0660 |
| 22 | 97.9 | 0.1160 | 0.1070 | 0.1010 | 0.0990 | 0.0980 | 0.0970 | 0.0970 | 0.0970 | 0.0970 |
| 24 | 106.8 | 0.1630 | 0.1510 | 0.1440 | 0.1410 | 0.1390 | 0.1390 | 0.1380 | 0.1380 | 0.1380 |
| 26 | 115.7 | 0.2220 | 0.2090 | 0.2000 | 0.1950 | 0.1940 | 0.1930 | 0.1920 | 0.1920 | 0.1920 |
| 28 | 124.6 | 0.2950 | 0.2810 | 0.2710 | 0.2650 | 0.2630 | 0.2620 | 0.2620 | 0.2620 | 0.2620 |
| 30 | 133.5 | 0.3840 | 0.3710 | 0.3590 | 0.3540 | 0.3510 | 0.3500 | 0.3490 | 0.3490 | 0.3490 |
| 32 | 142.4 | 0.4900 | 0.4800 | 0.4680 | 0.4630 | 0.4600 | 0.4590 | 0.4580 | 0.4580 | 0.4580 |
| 34 | 151.3 | 0.6160 | 0.6090 | 0.6010 | 0.5960 | 0.5940 | 0.5930 | 0.5920 | 0.5920 | 0.5920 |
| 36 | 160 | 0.7650 | 0.7620 | 0.7590 | 0.7570 | 0.7560 | 0.7550 | 0.7550 | 0.7550 | 0.7550 |
| 38 | 169.1 | 0.9390 | 0.9410 | 0.9460 | 0.9480 | 0.9500 | 0.9510 | 0.9510 | 0.9510 | 0.9510 |
| 40 | 178 | 1.1400 | 1.1500 | 1.1600 | 1.1700 | 1.1800 | 1.1800 | 1.1800 | 1.1800 | 1.1800 |
| 42 | 186.9 | 1.3800 | 1.3800 | 1.4100 | 1.4400 | 1.4500 | 1.4600 | 1.4600 | 1.4600 | 1.4600 |
| 44 | 195.8 | 1.6500 | 1.6500 | 1.7000 | 1.7400 | 1.7700 | 1.7800 | 1.7800 | 1.7800 | 1.7900 |
| 46 | 204.7 | 1.9700 | 1.9600 | 2.0300 | 2.0900 | 2.1300 | 2.1500 | 2.1600 | 2.1600 | 2.1600 |
| 48 | 213.6 | 2.3400 | 2.3100 | 2.4000 | 2.4900 | 2.5500 | 2.5800 | 2.5900 | 2.6000 | 2.6000 |
| 50 | 222.5 | 2.7600 | 2.7100 | 2.8100 | 2.9400 | 3.0200 | 3.0700 | 3.0900 | 3.1000 | 3.1100 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Continuación del anexo 3-6

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Tridem), Pt=2.5 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (254mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 52 | 231.4 | 3.2400 | 3.1500 | 3.2700 | 3.4400 | 3.5600 | 3.6200 | 3.6600 | 3.6800 | 3.6800 |
| 54 | 240.3 | 3.7900 | 3.6600 | 3.7900 | 4.0000 | 4.1600 | 4.2600 | 4.3000 | 4.3300 | 4.3400 |
| 56 | 249.2 | 4.4100 | 4.2300 | 4.3700 | 4.6300 | 4.8400 | 4.9700 | 5.0300 | 5.0700 | 5.0900 |
| 58 | 258.1 | 5.1200 | 4.8700 | 5.0000 | 5.3200 | 5.5900 | 5.7600 | 5.8500 | 5.9000 | 5.9300 |
| 60 | 267.0 | 5.9100 | 5.5900 | 5.7100 | 6.0800 | 6.4200 | 6.6400 | 6.7700 | 6.8400 | 6.8700 |
| 62 | 275.9 | 6.8000 | 6.3900 | 6.5000 | 6.9100 | 7.3300 | 7.6200 | 7.7900 | 7.8800 | 7.9300 |
| 64 | 284.7 | 7.7900 | 7.2900 | 7.3700 | 7.8200 | 8.3300 | 8.7000 | 8.9200 | 9.0400 | 9.1100 |
| 66 | 293.6 | 8.9000 | 8.2800 | 8.3300 | 8.8300 | 9.4200 | 9.8800 | 10.1700 | 10.3300 | 10.4200 |
| 68 | 302.5 | 10.1000 | 9.4000 | 9.4000 | 9.9000 | 10.6000 | 11.2000 | 11.5000 | 11.7000 | 11.9000 |
| 70 | 311.4 | 11.5000 | 10.6000 | 10.6000 | 11.1000 | 11.9000 | 12.6000 | 13.0000 | 13.3000 | 13.5000 |
| 72 | 320.3 | 13.0000 | 12.0000 | 11.8000 | 12.4000 | 13.3000 | 14.1000 | 14.7000 | 15.0000 | 15.2000 |
| 74 | 329.2 | 14.6000 | 13.5000 | 13.2000 | 13.8000 | 14.8000 | 15.8000 | 16.5000 | 16.9000 | 17.1000 |
| 76 | 338.1 | 16.5000 | 15.1000 | 14.8000 | 15.4000 | 16.5000 | 17.6000 | 18.4000 | 18.9000 | 19.2000 |
| 78 | 347.0 | 18.5000 | 16.9000 | 16.5000 | 17.1000 | 18.2000 | 19.5000 | 20.5000 | 21.1000 | 21.5000 |
| 80 | 355.9 | 20.6000 | 18.8000 | 18.3000 | 18.9000 | 20.2000 | 21.6000 | 22.7000 | 23.5000 | 24.0000 |
| 82 | 364.8 | 23.0000 | 21.0000 | 20.3000 | 20.9000 | 22.2000 | 23.8000 | 25.2000 | 26.1000 | 26.7000 |
| 84 | 373.7 | 25.6000 | 23.3000 | 22.5000 | 23.1000 | 24.5000 | 26.2000 | 27.8000 | 28.9000 | 29.6000 |
| 86 | 382.6 | 28.4000 | 25.8000 | 24.9000 | 25.4000 | 26.9000 | 28.8000 | 30.5000 | 31.9000 | 32.8000 |
| 88 | 391.5 | 31.5000 | 28.6000 | 27.5000 | 27.9000 | 29.4000 | 31.5000 | 33.5000 | 35.1000 | 36.1000 |
| 90 | 400.4 | 34.8000 | 31.5000 | 30.3000 | 30.7000 | 32.2000 | 34.4000 | 36.7000 | 38.5000 | 39.8000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 3-7 Factor de equivalencia de carga para ejes simples pt=3

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Simples), Pt=3.0 | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (25.4mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 |
| 4 | 17.8 | 0.0030 | 0.0030 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 |
| 6 | 26.7 | 0.0140 | 0.0120 | 0.0110 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 | 0.0100 |
| 8 | 35.6 | 0.0450 | 0.0380 | 0.0340 | 0.0330 | 0.0320 | 0.0320 | 0.0320 | 0.0320 | 0.0320 |
| 10 | 44.5 | 0.1110 | 0.0950 | 0.0870 | 0.0830 | 0.0810 | 0.0810 | 0.0800 | 0.0800 | 0.0800 |
| 12 | 53.4 | 0.2280 | 0.2020 | 0.1860 | 0.1790 | 0.1760 | 0.1740 | 0.1740 | 0.1740 | 0.1730 |
| 14 | 62.3 | 0.4080 | 0.3780 | 0.3550 | 0.3440 | 0.3400 | 0.3370 | 0.3370 | 0.3360 | 0.3360 |
| 16 | 71.2 | 0.6600 | 0.6400 | 0.6190 | 0.6080 | 0.6030 | 0.6000 | 0.5990 | 0.5990 | 0.5990 |
| 18 | 80 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 20 | 89 | 1.4600 | 1.4700 | 1.5200 | 1.5500 | 1.5700 | 1.5800 | 1.5800 | 1.5900 | 1.5900 |
| 22 | 97.9 | 2.0700 | 2.0600 | 2.1800 | 2.2900 | 2.3500 | 2.3800 | 2.4000 | 2.4100 | 2.4100 |
| 24 | 106.8 | 2.9000 | 2.8100 | 3.0000 | 3.2300 | 3.3800 | 3.4700 | 3.5100 | 3.5300 | 3.5400 |
| 26 | 115.7 | 4.0000 | 3.7700 | 4.0100 | 4.4000 | 4.7000 | 4.8700 | 4.9600 | 5.0100 | 5.0400 |
| 28 | 124.6 | 5.4300 | 4.9900 | 5.2300 | 5.8000 | 6.3100 | 6.6500 | 6.8300 | 6.9300 | 6.9800 |
| 30 | 133.5 | 7.2700 | 6.5300 | 6.7200 | 7.4600 | 8.2500 | 8.8300 | 9.1700 | 9.3600 | 9.4600 |
| 32 | 142.4 | 9.5900 | 8.4700 | 8.5300 | 9.4200 | 10.5400 | 11.4400 | 12.0300 | 12.3700 | 12.5600 |
| 34 | 151.3 | 12.5000 | 10.9000 | 10.7000 | 11.7000 | 13.2000 | 14.5000 | 15.5000 | 16.0000 | 16.4000 |
| 36 | 160 | 16.0000 | 13.8000 | 13.4000 | 14.4000 | 16.2000 | 18.1000 | 19.5000 | 20.4000 | 21.0000 |
| 38 | 169.1 | 20.4000 | 17.4000 | 16.7000 | 17.7000 | 19.8000 | 22.2000 | 24.2000 | 25.6000 | 26.4000 |
| 40 | 178 | 25.6000 | 21.8000 | 20.6000 | 21.5000 | 23.8000 | 26.8000 | 29.5000 | 31.5000 | 32.9000 |
| 42 | 186.9 | 31.8000 | 26.9000 | 25.3000 | 26.0000 | 28.5000 | 32.0000 | 35.5000 | 38.4000 | 40.3000 |
| 44 | 195.8 | 39.2000 | 33.1000 | 30.8000 | 31.3000 | 33.9000 | 37.9000 | 42.3000 | 46.1000 | 48.8000 |
| 46 | 204.7 | 47.8000 | 40.3000 | 37.2000 | 37.5000 | 40.1000 | 44.5000 | 49.8000 | 54.7000 | 58.5000 |
| 48 | 213.6 | 57.9000 | 48.6000 | 44.8000 | 44.7000 | 47.3000 | 52.1000 | 58.2000 | 64.3000 | 69.4000 |
| 50 | 222.5 | 69.6000 | 58.4000 | 53.6000 | 53.1000 | 55.6000 | 60.6000 | 67.6000 | 75.0000 | 81.4000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 3-8 Factor equivalente de carga para eje Tándem pt=3

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Tándem), Pt=3.0 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (254mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 4 | 17.8 | 0.0007 | 0.0006 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 |
| 6 | 26.7 | 0.0030 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 |
| 8 | 35.6 | 0.0080 | 0.0060 | 0.0060 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 |
| 10 | 44.5 | 0.0180 | 0.0150 | 0.0130 | 0.0130 | 0.0130 | 0.0120 | 0.0120 | 0.0120 | 0.0120 |
| 12 | 53.4 | 0.0360 | 0.0300 | 0.0270 | 0.0260 | 0.0260 | 0.0250 | 0.0250 | 0.0250 | 0.0250 |
| 14 | 62.3 | 0.0660 | 0.0560 | 0.0500 | 0.0480 | 0.0470 | 0.0470 | 0.0470 | 0.0470 | 0.0470 |
| 16 | 71.2 | 0.1110 | 0.0950 | 0.0870 | 0.0830 | 0.0810 | 0.0810 | 0.0810 | 0.0800 | 0.0800 |
| 18 | 80 | 0.1740 | 0.1530 | 0.1400 | 0.1350 | 0.1320 | 0.1310 | 0.1310 | 0.1310 | 0.1310 |
| 20 | 89 | 0.2600 | 0.2340 | 0.2170 | 0.2090 | 0.2050 | 0.2040 | 0.2030 | 0.2030 | 0.2030 |
| 22 | 97.9 | 0.3680 | 0.3410 | 0.3210 | 0.3110 | 0.3070 | 0.3050 | 0.3040 | 0.3030 | 0.3030 |
| 24 | 106.8 | 0.5020 | 0.4790 | 0.4580 | 0.4470 | 0.4430 | 0.4400 | 0.4400 | 0.4390 | 0.4390 |
| 26 | 115.7 | 0.6640 | 0.6510 | 0.6340 | 0.6250 | 0.6210 | 0.6190 | 0.6180 | 0.6180 | 0.6180 |
| 28 | 124.6 | 0.8590 | 0.8570 | 0.8530 | 0.8510 | 0.8500 | 0.8500 | 0.8500 | 0.8490 | 0.8490 |
| 30 | 133.5 | 1.0900 | 1.1000 | 1.1200 | 1.1300 | 1.1400 | 1.1400 | 1.1400 | 1.1400 | 1.1400 |
| 32 | 142.4 | 1.3800 | 1.3800 | 1.4400 | 1.4700 | 1.4900 | 1.5000 | 1.5100 | 1.5100 | 1.5100 |
| 34 | 151.3 | 1.7200 | 1.7100 | 1.8000 | 1.8800 | 1.9300 | 1.9500 | 1.9600 | 1.9700 | 1.9700 |
| 36 | 160 | 2.1300 | 2.1000 | 2.2300 | 2.3600 | 2.4500 | 2.4900 | 2.5100 | 2.5200 | 2.5200 |
| 38 | 169.1 | 2.6200 | 2.5400 | 2.7100 | 2.9200 | 3.0600 | 3.1300 | 3.1700 | 3.1900 | 3.2000 |
| 40 | 178 | 3.2100 | 3.0500 | 3.2600 | 3.5500 | 3.7600 | 3.8900 | 3.9500 | 3.9800 | 4.0000 |
| 42 | 186.9 | 3.9000 | 3.6500 | 3.8700 | 4.2600 | 4.5800 | 4.7700 | 4.8700 | 4.9200 | 4.9500 |
| 44 | 195.8 | 4.7200 | 4.3500 | 4.5700 | 5.0600 | 5.5000 | 5.7800 | 5.9400 | 6.0200 | 6.0600 |
| 46 | 204.7 | 5.6800 | 5.1600 | 5.3600 | 5.9500 | 6.5400 | 6.9400 | 7.1700 | 7.2900 | 7.3600 |
| 48 | 213.6 | 6.8000 | 6.1000 | 6.2500 | 6.9300 | 7.6900 | 8.2400 | 8.5700 | 8.7600 | 8.8600 |
| 50 | 222.5 | 8.0900 | 7.1700 | 7.2600 | 8.0300 | 8.9600 | 9.7000 | 10.1700 | 10.4300 | 10.5800 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Continuación del Anexo 3-8

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Tándem), Pt=3.0 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (254mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 52 | 231.4 | 9.5700 | 8.4100 | 8.4000 | 9.2400 | 10.3600 | 11.3200 | 11.9600 | 12.3300 | 12.5400 |
| 54 | 240.3 | 11.3000 | 9.8000 | 9.7000 | 10.6000 | 11.9000 | 13.1000 | 14.0000 | 14.5000 | 14.8000 |
| 56 | 249.2 | 13.2000 | 11.4000 | 11.2000 | 12.1000 | 13.6000 | 15.1000 | 16.2000 | 16.9000 | 17.3000 |
| 58 | 258.1 | 15.4000 | 13.2000 | 12.8000 | 13.7000 | 15.4000 | 17.2000 | 18.6000 | 19.5000 | 20.1000 |
| 60 | 267.0 | 17.9000 | 15.3000 | 14.7000 | 15.6000 | 17.4000 | 19.5000 | 21.3000 | 22.5000 | 23.2000 |
| 62 | 275.9 | 20.6000 | 17.6000 | 16.8000 | 17.6000 | 19.6000 | 22.0000 | 24.1000 | 25.7000 | 26.6000 |
| 64 | 284.7 | 23.7000 | 20.2000 | 19.1000 | 19.9000 | 22.0000 | 24.7000 | 27.3000 | 29.2000 | 30.4000 |
| 66 | 293.6 | 27.2000 | 23.1000 | 21.7000 | 22.4000 | 24.6000 | 27.6000 | 30.6000 | 33.0000 | 34.6000 |
| 68 | 302.5 | 31.1000 | 26.3000 | 24.6000 | 25.2000 | 27.4000 | 30.8000 | 34.3000 | 37.1000 | 39.2000 |
| 70 | 311.4 | 35.4000 | 29.8000 | 27.8000 | 28.2000 | 30.6000 | 34.2000 | 38.2000 | 41.6000 | 44.1000 |
| 72 | 320.3 | 40.1000 | 33.8000 | 31.3000 | 31.6000 | 34.0000 | 37.9000 | 42.3000 | 46.4000 | 49.4000 |
| 74 | 329.2 | 45.3000 | 38.1000 | 35.2000 | 35.4000 | 37.7000 | 41.8000 | 46.8000 | 51.5000 | 55.2000 |
| 76 | 338.1 | 51.1000 | 42.9000 | 39.5000 | 39.5000 | 41.8000 | 46.1000 | 51.5000 | 56.9000 | 61.3000 |
| 78 | 347.0 | 57.4000 | 48.2000 | 44.3000 | 44.0000 | 46.3000 | 50.7000 | 56.6000 | 62.7000 | 67.9000 |
| 80 | 355.9 | 64.3000 | 53.9000 | 49.4000 | 48.9000 | 51.1000 | 55.8000 | 62.1000 | 68.9000 | 74.9000 |
| 82 | 364.8 | 71.8000 | 60.2000 | 55.1000 | 54.3000 | 56.5000 | 61.2000 | 67.9000 | 75.5000 | 82.4000 |
| 84 | 373.7 | 80.0000 | 67.0000 | 61.2000 | 60.2000 | 62.2000 | 67.0000 | 74.2000 | 82.4000 | 90.3000 |
| 86 | 382.6 | 89.0000 | 74.5000 | 67.9000 | 66.5000 | 68.5000 | 73.4000 | 80.8000 | 89.8000 | 98.7000 |
| 88 | 391.5 | 98.7000 | 82.5000 | 75.2000 | 73.5000 | 75.3000 | 80.2000 | 88.0000 | 97.7000 | 107.5000 |
| 90 | 400.4 | 109.0000 | 91.0000 | 83.0000 | 81.0000 | 83.0000 | 88.0000 | 96.0000 | 106.0000 | 117.0000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 3-9 Factor equivalente de carga para ejes Tridem pt=3

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Tridem), Pt=3.0 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (254mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 4 | 17.8 | 0.0004 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 |
| 6 | 26.7 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 |
| 8 | 35.6 | 0.0030 | 0.0030 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 |
| 10 | 44.5 | 0.0070 | 0.0060 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 | 0.0050 |
| 12 | 53.4 | 0.0130 | 0.0110 | 0.0100 | 0.0090 | 0.0090 | 0.0090 | 0.0090 | 0.0090 | 0.0090 |
| 14 | 62.3 | 0.0230 | 0.0200 | 0.0180 | 0.0170 | 0.0170 | 0.0160 | 0.0160 | 0.0160 | 0.0160 |
| 16 | 71.2 | 0.0390 | 0.0330 | 0.0300 | 0.0280 | 0.0280 | 0.0270 | 0.0270 | 0.0270 | 0.0270 |
| 18 | 80 | 0.0610 | 0.0520 | 0.0470 | 0.0450 | 0.0440 | 0.0440 | 0.0430 | 0.0430 | 0.0430 |
| 20 | 89 | 0.0910 | 0.0780 | 0.0710 | 0.0680 | 0.0670 | 0.0660 | 0.0660 | 0.0660 | 0.0660 |
| 22 | 97.9 | 0.1320 | 0.1140 | 0.1040 | 0.1000 | 0.0980 | 0.0970 | 0.0970 | 0.0970 | 0.0970 |
| 24 | 106.8 | 0.1830 | 0.1610 | 0.1480 | 0.1430 | 0.1400 | 0.1390 | 0.1390 | 0.1380 | 0.1380 |
| 26 | 115.7 | 0.2460 | 0.2210 | 0.2050 | 0.1980 | 0.1950 | 0.1930 | 0.1930 | 0.1920 | 0.1920 |
| 28 | 124.6 | 0.3220 | 0.2960 | 0.2770 | 0.2680 | 0.2650 | 0.2630 | 0.2620 | 0.2620 | 0.2620 |
| 30 | 133.5 | 0.4110 | 0.3870 | 0.3670 | 0.3570 | 0.3530 | 0.3510 | 0.3500 | 0.3490 | 0.3490 |
| 32 | 142.4 | 0.5150 | 0.4950 | 0.4760 | 0.4660 | 0.4620 | 0.4600 | 0.4590 | 0.4580 | 0.4580 |
| 34 | 151.3 | 0.6340 | 0.6220 | 0.6070 | 0.5990 | 0.5950 | 0.5940 | 0.5930 | 0.5920 | 0.5920 |
| 36 | 160 | 0.7720 | 0.7680 | 0.7620 | 0.7580 | 0.7560 | 0.7560 | 0.7550 | 0.7550 | 0.7550 |
| 38 | 169.1 | 0.9300 | 0.9340 | 0.9420 | 0.9470 | 0.9490 | 0.9500 | 0.9510 | 0.9510 | 0.9510 |
| 40 | 178 | 1.1100 | 1.1200 | 1.1500 | 1.1700 | 1.1800 | 1.1800 | 1.1800 | 1.1800 | 1.1800 |
| 42 | 186.9 | 1.3000 | 1.3300 | 1.3800 | 1.4200 | 1.4400 | 1.4500 | 1.4600 | 1.4600 | 1.4600 |
| 44 | 195.8 | 1.5600 | 1.5600 | 1.6400 | 1.7100 | 1.7500 | 1.7700 | 1.7800 | 1.7800 | 1.7800 |
| 46 | 204.7 | 1.8400 | 1.8300 | 1.9400 | 2.0400 | 2.1000 | 2.1400 | 2.1500 | 2.1600 | 2.1600 |
| 48 | 213.6 | 2.1600 | 2.1200 | 2.2600 | 2.4100 | 2.5100 | 2.5600 | 2.5800 | 2.5900 | 2.6000 |
| 50 | 222.5 | 2.5300 | 2.4500 | 2.6100 | 2.8200 | 2.9600 | 3.0300 | 3.0700 | 3.0900 | 3.1000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Continuación del anexo 3-9

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Rígidos (Ejes Tridem), Pt=3.0 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | | | | |
| KLB | KN | 6plg (152.4mm) | 7plg (177.8mm) | 8plg (203.2mm) | 9plg (228.6mm) | 10plg (254mm) | 11plg (279.4mm) | 12plg (304.8mm) | 13plg (330.2mm) | 14plg (355.6mm) |
| 52 | 231.4 | 2.9500 | 2.8200 | 3.0100 | 3.2700 | 3.4700 | 3.5800 | 3.6300 | 3.6600 | 3.6800 |
| 54 | 240.3 | 3.4300 | 3.2300 | 3.4300 | 3.7700 | 4.0300 | 4.1800 | 4.2700 | 4.3100 | 4.3300 |
| 56 | 249.2 | 3.9800 | 3.7000 | 3.9000 | 4.3100 | 4.6500 | 4.8600 | 4.9800 | 5.0400 | 5.0700 |
| 58 | 258.1 | 4.5900 | 4.2200 | 4.4200 | 4.9000 | 5.3400 | 5.6200 | 5.7800 | 5.8600 | 5.9000 |
| 60 | 267.0 | 5.2800 | 4.8000 | 4.9900 | 5.5400 | 6.0800 | 6.4500 | 6.6600 | 6.7800 | 6.8400 |
| 62 | 275.9 | 6.0600 | 5.4500 | 5.6100 | 6.2300 | 6.8900 | 7.3600 | 7.6400 | 7.8000 | 7.8800 |
| 64 | 284.7 | 6.9200 | 6.1800 | 6.2900 | 6.9800 | 7.7600 | 8.3600 | 8.7200 | 8.9300 | 9.0400 |
| 66 | 293.6 | 7.8900 | 6.9800 | 7.0500 | 7.7800 | 8.7000 | 9.4400 | 9.9100 | 10.1800 | 10.3300 |
| 68 | 302.5 | 8.9600 | 7.8800 | 7.8700 | 8.6600 | 9.7100 | 10.6100 | 11.2000 | 11.5500 | 11.7500 |
| 70 | 311.4 | 10.2000 | 8.9000 | 8.8000 | 9.6000 | 10.8000 | 11.9000 | 12.6000 | 13.1000 | 13.3000 |
| 72 | 320.3 | 11.5000 | 10.0000 | 9.8000 | 10.6000 | 12.0000 | 13.2000 | 14.1000 | 14.7000 | 15.0000 |
| 74 | 329.2 | 12.9000 | 11.2000 | 10.9000 | 11.7000 | 13.2000 | 14.7000 | 15.8000 | 16.5000 | 16.9000 |
| 76 | 338.1 | 14.5000 | 12.5000 | 12.1000 | 12.9000 | 14.5000 | 16.2000 | 17.5000 | 18.4000 | 18.9000 |
| 78 | 347.0 | 16.2000 | 13.9000 | 13.4000 | 14.2000 | 15.9000 | 17.8000 | 19.4000 | 20.5000 | 21.1000 |
| 80 | 355.9 | 18.2000 | 15.5000 | 14.8000 | 15.6000 | 17.4000 | 19.6000 | 21.4000 | 22.7000 | 23.5000 |
| 82 | 364.8 | 20.2000 | 17.2000 | 16.4000 | 17.2000 | 19.1000 | 21.4000 | 23.5000 | 25.1000 | 26.1000 |
| 84 | 373.7 | 22.5000 | 19.1000 | 18.1000 | 18.8000 | 20.8000 | 23.4000 | 25.8000 | 27.6000 | 28.8000 |
| 86 | 382.6 | 25.0000 | 21.2000 | 19.9000 | 20.6000 | 22.6000 | 25.5000 | 28.2000 | 30.4000 | 31.8000 |
| 88 | 391.5 | 27.6000 | 23.4000 | 21.9000 | 22.5000 | 24.6000 | 27.7000 | 30.7000 | 33.2000 | 35.0000 |
| 90 | 400.4 | 30.5000 | 25.8000 | 24.1000 | 24.6000 | 26.8000 | 30.0000 | 33.4000 | 36.3000 | 38.3000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 4. Factores equivalentes de cargas para pavimento flexible.

Anexo 4-1 Factor equivalente de carga para ejes simples pt=2

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Simples), Pt=2.0 | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------|------------------|------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 |
| 4 | 17.8 | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 6 | 26.7 | 0.009 | 0.012 | 0.011 | 0.1 | 0.009 | 0.009 |
| 8 | 35.6 | 0.030 | 0.035 | 0.036 | 0.033 | 0.031 | 0.029 |
| 10 | 44.5 | 0.075 | 0.085 | 0.09 | 0.085 | 0.79 | 0.076 |
| 12 | 53.4 | 0.165 | 0.177 | 0.189 | 0.183 | 0.174 | 0.168 |
| 14 | 62.3 | 0.325 | 0.338 | 0.354 | 0.35 | 0.338 | 0.331 |
| 16 | 71.2 | 0.589 | 0.598 | 0.613 | 0.612 | 0.603 | 0.596 |
| 18 | 80 | 1.00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | 89 | 1.61 | 1.59 | 1.56 | 1.55 | 1.57 | 1.59 |
| 22 | 97.9 | 2.49 | 2.44 | 2.35 | 2.31 | 2.35 | 2.41 |
| 24 | 106.8 | 3.71 | 3.62 | 3.43 | 3.33 | 3.4 | 3.51 |
| 26 | 115.7 | 5.36 | 5.21 | 4.88 | 4.68 | 4.77 | 4.96 |
| 28 | 124.6 | 7.54 | 7.31 | 6.78 | 6.42 | 6.52 | 6.83 |
| 30 | 133.5 | 10.40 | 10 | 9.2 | 8.6 | 8.7 | 9.2 |
| 32 | 142.4 | 14.00 | 13.5 | 12.4 | 11.5 | 11.5 | 12.1 |
| 34 | 151.3 | 18.50 | 17.9 | 16.3 | 15 | 14.9 | 15.6 |
| 36 | 160 | 24.20 | 23.3 | 21.2 | 19.3 | 19 | 19.9 |
| 38 | 169.1 | 31.10 | 29.9 | 27.1 | 24.6 | 24 | 25.1 |
| 40 | 178 | 39.60 | 38 | 34.3 | 30.9 | 30 | 31.2 |
| 42 | 186.9 | 49.70 | 47.7 | 43 | 38.6 | 37.2 | 38.5 |
| 44 | 195.8 | 61.80 | 59.3 | 53.4 | 47.6 | 45.7 | 47.1 |
| 46 | 204.7 | 76.10 | 73 | 65.6 | 58.3 | 55.7 | 57 |
| 48 | 213.6 | 92.90 | 89.1 | 80 | 70.9 | 67.3 | 68.6 |
| 50 | 222.5 | 113.00 | 108 | 97 | 86 | 81 | 82 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 4-2 Factor equivalente de carga para ejes Tridem pt=2

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Tándem), Pt=2.0 | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4 | 17.8 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 |
| 6 | 26.7 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 |
| 8 | 35.6 | 0.0030 | 0.0030 | 0.0030 | 0.0030 | 0.0030 | 0.0020 |
| 10 | 44.5 | 0.0070 | 0.0080 | 0.0080 | 0.0070 | 0.0060 | 0.0060 |
| 12 | 53.4 | 0.0130 | 0.0160 | 0.0160 | 0.0140 | 0.0130 | 0.0120 |
| 14 | 62.3 | 0.0240 | 0.0290 | 0.0290 | 0.0260 | 0.0240 | 0.0230 |
| 16 | 71.2 | 0.0410 | 0.0480 | 0.0500 | 0.0460 | 0.0420 | 0.0400 |
| 18 | 80 | 0.0660 | 0.0770 | 0.0810 | 0.0750 | 0.0690 | 0.0660 |
| 20 | 89 | 0.1030 | 0.1170 | 0.1240 | 0.1170 | 0.1090 | 0.1050 |
| 22 | 97.9 | 0.1560 | 0.1710 | 0.1830 | 0.1740 | 0.1640 | 0.1580 |
| 24 | 106.8 | 0.2270 | 0.2440 | 0.2600 | 0.2520 | 0.2390 | 0.2310 |
| 26 | 115.7 | 0.3220 | 0.3400 | 0.3600 | 0.3530 | 0.3380 | 0.3290 |
| 28 | 124.6 | 0.4470 | 0.4650 | 0.4870 | 0.4810 | 0.4660 | 0.4550 |
| 30 | 133.5 | 0.6070 | 0.6230 | 0.6460 | 0.6430 | 0.6270 | 0.6170 |
| 32 | 142.4 | 0.8100 | 0.8230 | 0.8430 | 0.8420 | 0.8290 | 0.8190 |
| 34 | 151.3 | 1.0600 | 1.0700 | 1.0800 | 1.0800 | 1.0800 | 1.0700 |
| 36 | 160 | 1.3800 | 1.3800 | 1.3800 | 1.3800 | 1.3800 | 1.3800 |
| 38 | 169.1 | 1.7600 | 1.7500 | 1.7300 | 1.7200 | 1.7300 | 1.7400 |
| 40 | 178 | 2.2200 | 2.1900 | 2.1500 | 2.1300 | 2.1600 | 2.1800 |
| 42 | 186.9 | 2.7700 | 2.7300 | 2.6400 | 2.6200 | 2.6600 | 2.7000 |
| 44 | 195.8 | 3.4200 | 3.3600 | 3.2300 | 3.1800 | 3.2400 | 3.3100 |
| 46 | 204.7 | 4.2000 | 4.1100 | 3.9200 | 3.8300 | 3.9100 | 4.0200 |
| 48 | 213.6 | 5.1000 | 4.9800 | 4.7200 | 4.5800 | 4.6800 | 4.8300 |
| 50 | 222.5 | 6.1500 | 5.9900 | 5.6400 | 5.4400 | 5.5600 | 5.7700 |
| 52 | 231.4 | 7.3700 | 7.1600 | 6.7100 | 6.4300 | 6.5600 | 6.8300 |
| 54 | 240.3 | 8.7700 | 8.5100 | 7.9300 | 7.5500 | 7.6900 | 8.0300 |
| 56 | 249.2 | 10.4000 | 10.1000 | 9.3000 | 8.8000 | 9.0000 | 9.4000 |
| 58 | 258.1 | 12.2000 | 11.8000 | 10.9000 | 10.3000 | 10.4000 | 10.9000 |
| 60 | 267 | 14.3000 | 13.8000 | 12.7000 | 11.9000 | 12.0000 | 12.6000 |
| 62 | 275.9 | 16.6000 | 16.0000 | 14.7000 | 13.7000 | 13.8000 | 14.5000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Continuación del anexo 4-2

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Tándem), Pt=2.0 | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 64 | 284.7 | 19.3000 | 18.6000 | 17.0000 | 15.8000 | 15.8000 | 16.6000 |
| 66 | 293.6 | 22.2000 | 21.4000 | 19.6000 | 18.0000 | 18.0000 | 18.9000 |
| 68 | 302.5 | 25.5000 | 24.6000 | 22.4000 | 20.6000 | 20.5000 | 21.5000 |
| 70 | 311.4 | 29.2000 | 28.1000 | 25.6000 | 23.4000 | 23.2000 | 24.3000 |
| 72 | 320.3 | 33.3000 | 32.0000 | 29.1000 | 26.5000 | 26.2000 | 27.4000 |
| 74 | 329.2 | 37.8000 | 36.4000 | 33.0000 | 30.0000 | 29.4000 | 30.8000 |
| 76 | 338.1 | 42.8000 | 41.2000 | 37.3000 | 33.8000 | 33.1000 | 34.5000 |
| 78 | 347 | 48.4000 | 46.5000 | 42.0000 | 38.0000 | 37.0000 | 38.6000 |
| 80 | 355.9 | 54.4000 | 52.3000 | 47.2000 | 42.5000 | 41.3000 | 43.0000 |
| 82 | 364.8 | 61.1000 | 58.7000 | 52.9000 | 47.6000 | 46.0000 | 47.8000 |
| 84 | 373.7 | 68.4000 | 65.7000 | 59.2000 | 53.0000 | 51.2000 | 53.0000 |
| 86 | 382.6 | 76.3000 | 73.3000 | 66.0000 | 59.0000 | 56.8000 | 58.6000 |
| 88 | 391.5 | 85.0000 | 81.6000 | 73.4000 | 65.5000 | 62,8 | 64.7000 |
| 90 | 400.4 | 94.4000 | 90.6000 | 81.5000 | 72.6000 | 69.4000 | 71.3000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 4-3 Factor equivalente de carga para ejes Tridem pt=2

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Tridem), Pt=2.0 | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4 | 17.8 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 6 | 26.7 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 |
| 8 | 35.6 | 0.0009 | 0.0010 | 0.0009 | 0.0008 | 0.0007 | 0.0007 |
| 10 | 44.5 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0010 |
| 12 | 53.4 | 0.0040 | 0.0040 | 0.0040 | 0.0030 | 0.0030 | 0.0030 |
| 14 | 62.3 | 0.0060 | 0.0070 | 0.0070 | 0.0060 | 0.0060 | 0.0050 |
| 16 | 71.2 | 0.0100 | 0.0120 | 0.0120 | 0.0100 | 0.0090 | 0.0090 |
| 18 | 80 | 0.0160 | 0.0190 | 0.0190 | 0.0170 | 0.0150 | 0.0150 |
| 20 | 89 | 0.0240 | 0.0290 | 0.0290 | 0.0260 | 0.0240 | 0.0230 |
| 22 | 97.9 | 0.0340 | 0.0420 | 0.0420 | 0.0380 | 0.0350 | 0.0340 |
| 24 | 106.8 | 0.0490 | 0.0580 | 0.0600 | 0.0550 | 0.0510 | 0.0480 |
| 26 | 115.7 | 0.0680 | 0.0800 | 0.0830 | 0.0770 | 0.0710 | 0.0680 |
| 28 | 124.6 | 0.0930 | 0.1070 | 0.1130 | 0.1050 | 0.0980 | 0.0940 |
| 30 | 133.5 | 0.1250 | 0.1400 | 0.1490 | 0.1400 | 0.1310 | 0.1260 |
| 32 | 142.4 | 0.1640 | 0.1820 | 0.1940 | 0.1840 | 0.1730 | 0.1670 |
| 34 | 151.3 | 0.2130 | 0.2330 | 0.2480 | 0.2380 | 0.2250 | 0.2170 |
| 36 | 160 | 0.2730 | 0.2940 | 0.3130 | 0.3030 | 0.2880 | 0.2790 |
| 38 | 169.1 | 0.3460 | 0.3680 | 0.3900 | 0.3810 | 0.3640 | 0.3530 |
| 40 | 178 | 0.4340 | 0.4560 | 0.4810 | 0.4730 | 0.4540 | 0.4430 |
| 42 | 186.9 | 0.5380 | 0.5600 | 0.5870 | 0.5800 | 0.5610 | 0.5480 |
| 44 | 195.8 | 0.6620 | 0.6820 | 0.7100 | 0.7050 | 0.6860 | 0.6730 |
| 46 | 204.7 | 0.8070 | 0.8250 | 0.8520 | 0.8490 | 0.8310 | 0.8180 |
| 48 | 213.6 | 0.9760 | 0.9920 | 1.0150 | 1.0140 | 0.9990 | 0.9870 |
| 50 | 222.5 | 1.1700 | 1.1800 | 1.2000 | 1.2000 | 1.1900 | 1.1800 |
| 52 | 231.4 | 1.4000 | 1.4000 | 1.4200 | 1.4200 | 1.4100 | 1.4000 |
| 54 | 240.3 | 1.6600 | 1.6600 | 1.6600 | 1.6600 | 1.6600 | 1.6600 |
| 56 | 249.2 | 1.9500 | 1.9500 | 1.9300 | 1.9300 | 1.9400 | 1.9400 |
| 58 | 258.1 | 2.2900 | 2.2700 | 2.2400 | 2.2300 | 2.2500 | 2.2700 |
| 60 | 267 | 2.6700 | 2.6400 | 2.5900 | 2.5700 | 2.6000 | 2.6300 |
| 62 | 275.9 | 3.1000 | 3.0600 | 2.9800 | 2.9500 | 2.9900 | 3.0400 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Continuación del anexo 4-3

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Tridem), Pt=2.0 | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 64 | 284.7 | 3.5900 | 3.5300 | 3.4100 | 3.3700 | 3.4200 | 3.4900 |
| 66 | 293.6 | 4.1300 | 4.0500 | 3.8900 | 3.8300 | 3.9000 | 3.9900 |
| 68 | 302.5 | 4.7300 | 4.6300 | 4.4300 | 4.3400 | 4.4200 | 4.5400 |
| 70 | 311.4 | 5.4000 | 5.2800 | 5.0300 | 4.9000 | 5.0000 | 5.1500 |
| 72 | 320.3 | 6.1500 | 6.0000 | 5.6800 | 5.5200 | 5.6300 | 5.8200 |
| 74 | 329.2 | 6.9700 | 6.7900 | 6.4100 | 6.2000 | 6.3300 | 6.5600 |
| 76 | 338.1 | 7.8800 | 7.6700 | 7.2100 | 6.9400 | 7.0800 | 7.3600 |
| 78 | 347 | 8.8800 | 8.6300 | 8.0900 | 7.7500 | 7.9000 | 8.2300 |
| 80 | 355.9 | 9.9800 | 9.6900 | 9.0500 | 8.6300 | 8.7900 | 9.1800 |
| 82 | 364.8 | 11.2000 | 10.8000 | 10.1000 | 9.6000 | 9.8000 | 10.2000 |
| 84 | 373.7 | 12.5000 | 12.1000 | 11.2000 | 10.6000 | 10.8000 | 11.3000 |
| 86 | 382.6 | 13.9000 | 13.5000 | 12.5000 | 11.8000 | 11.9000 | 12.5000 |
| 88 | 391.5 | 15.5000 | 15.5000 | 13.8000 | 13.0000 | 13.2000 | 13.8000 |
| 90 | 400.4 | 17.2000 | 16.6000 | 15.3000 | 14.3000 | 14.5000 | 15.2000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 4-4 Factor equivalente de carga para ejes simples pt=2.5

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Simples), Pt=2.5 | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0040 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 |
| 4 | 17.8 | 0.0030 | 0.0040 | 0.0040 | 0.0030 | 0.0020 | 0.0020 |
| 6 | 26.7 | 0.0110 | 0.0170 | 0.0170 | 0.0130 | 0.0100 | 0.0090 |
| 8 | 35.6 | 0.0320 | 0.0470 | 0.0510 | 0.0410 | 0.0340 | 0.0310 |
| 10 | 44.5 | 0.0780 | 0.1020 | 0.1180 | 0.1020 | 0.0880 | 0.0800 |
| 12 | 53.4 | 0.1680 | 0.1980 | 0.2290 | 0.2130 | 0.1890 | 0.1760 |
| 14 | 62.3 | 0.3280 | 0.3580 | 0.3990 | 0.3880 | 0.3600 | 0.3420 |
| 16 | 71.2 | 0.5910 | 0.6130 | 0.6460 | 0.6450 | 0.6230 | 0.6060 |
| 18 | 80 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 20 | 89 | 1.6100 | 1.5700 | 1.4900 | 1.4700 | 1.5100 | 1.5500 |
| 22 | 97.9 | 2.4800 | 2.3800 | 2.1700 | 2.0900 | 2.1800 | 2.3000 |
| 24 | 106.8 | 3.6900 | 3.4900 | 3.0900 | 2.8900 | 3.0300 | 3.2700 |
| 26 | 115.7 | 5.3300 | 4.9900 | 4.3100 | 3.9100 | 4.0900 | 4.4800 |
| 28 | 124.6 | 7.4900 | 6.9800 | 5.9000 | 5.2100 | 5.3900 | 5.9800 |
| 30 | 133.5 | 10.3000 | 9.5000 | 7.9000 | 6.8000 | 7.0000 | 7.8000 |
| 32 | 142.4 | 13.9000 | 12.8000 | 10.5000 | 8.8000 | 8.9000 | 10.0000 |
| 34 | 151.3 | 18.4000 | 16.9000 | 13.7000 | 11.3000 | 11.2000 | 12.5000 |
| 36 | 160 | 24.0000 | 22.0000 | 17.7000 | 14.4000 | 13.9000 | 15.5000 |
| 38 | 169.1 | 30.9000 | 28.3000 | 22.6000 | 18.1000 | 17.2000 | 19.0000 |
| 40 | 178 | 39.3000 | 35.9000 | 28.5000 | 22.5000 | 21.1000 | 23.0000 |
| 42 | 186.9 | 49.3000 | 45.0000 | 35.6000 | 27.8000 | 25.6000 | 27.7000 |
| 44 | 195.8 | 61.3000 | 55.9000 | 44.0000 | 34.0000 | 31.0000 | 33.1000 |
| 46 | 204.7 | 75.5000 | 68.8000 | 54.0000 | 41.4000 | 37.2000 | 39.3000 |
| 48 | 213.6 | 92.2000 | 83.9000 | 65.7000 | 50.1000 | 44.5000 | 46.5000 |
| 50 | 222.5 | 112.0000 | 102.0000 | 79.0000 | 60.0000 | 53.0000 | 55.0000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 4-5 Factor equivalente de carga para ejes Tándem pt=2.5

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Tándem), Pt=2.5 | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4 | 17.8 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0002 |
| 6 | 26.7 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 |
| 8 | 35.6 | 0.0040 | 0.0060 | 0.0050 | 0.0040 | 0.0030 | 0.0030 |
| 10 | 44.5 | 0.0080 | 0.0130 | 0.0110 | 0.0090 | 0.0070 | 0.0060 |
| 12 | 53.4 | 0.0150 | 0.0240 | 0.0230 | 0.0180 | 0.0140 | 0.0130 |
| 14 | 62.3 | 0.0260 | 0.0410 | 0.0420 | 0.0330 | 0.0270 | 0.0240 |
| 16 | 71.2 | 0.0440 | 0.0650 | 0.0700 | 0.0570 | 0.0470 | 0.0430 |
| 18 | 80 | 0.0700 | 0.0970 | 0.1090 | 0.0920 | 0.0770 | 0.0700 |
| 20 | 89 | 0.1070 | 0.1410 | 0.1620 | 0.1410 | 0.1210 | 0.1100 |
| 22 | 97.9 | 0.1600 | 0.1980 | 0.2290 | 0.2070 | 0.1800 | 0.1660 |
| 24 | 106.8 | 0.2310 | 0.2730 | 0.3150 | 0.2920 | 0.2600 | 0.2420 |
| 26 | 115.7 | 0.3270 | 0.3700 | 0.4200 | 0.4010 | 0.3640 | 0.3420 |
| 28 | 124.6 | 0.4510 | 0.4930 | 0.5480 | 0.5340 | 0.4950 | 0.4700 |
| 30 | 133.5 | 0.6110 | 0.6480 | 0.7030 | 0.6950 | 0.6580 | 0.6330 |
| 32 | 142.4 | 0.8130 | 0.8430 | 0.8890 | 0.8870 | 0.8570 | 0.8340 |
| 34 | 151.3 | 1.0600 | 1.0800 | 1.1100 | 1.1100 | 1.0900 | 1.0800 |
| 36 | 160 | 1.3800 | 1.3800 | 1.3800 | 1.3800 | 1.3800 | 1.3800 |
| 38 | 169.1 | 1.7500 | 1.7300 | 1.6900 | 1.6800 | 1.7000 | 1.7300 |
| 40 | 178 | 2.2100 | 2.1600 | 2.0600 | 2.0300 | 2.0800 | 2.1400 |
| 42 | 186.9 | 2.7600 | 2.6700 | 2.4900 | 2.4300 | 2.5100 | 2.6100 |
| 44 | 195.8 | 3.4100 | 3.2700 | 2.9900 | 2.8800 | 3.0000 | 3.1600 |
| 46 | 204.7 | 4.1800 | 3.9800 | 3.5800 | 3.4000 | 3.5500 | 3.7900 |
| 48 | 213.6 | 5.0800 | 4.8000 | 4.2500 | 3.9800 | 4.1700 | 4.4900 |
| 50 | 222.5 | 6.1200 | 5.7600 | 5.0300 | 4.6400 | 4.8600 | 5.2800 |
| 52 | 231.4 | 7.3300 | 6.8700 | 5.9300 | 5.3800 | 5.6300 | 6.1700 |
| 54 | 240.3 | 8.7200 | 8.1400 | 6.9500 | 6.2200 | 6.4700 | 7.1500 |
| 56 | 249.2 | 10.3000 | 9.6000 | 8.1000 | 7.2000 | 7.4000 | 8.2000 |
| 58 | 258.1 | 12.1000 | 11.3000 | 9.4000 | 8.2000 | 8.4000 | 9.4000 |
| 60 | 267 | 14.2000 | 13.1000 | 10.9000 | 9.4000 | 9.6000 | 10.7000 |
| 62 | 275.9 | 16.5000 | 15.3000 | 12.6000 | 10.7000 | 10.8000 | 12.1000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Continuación del anexo 2-5

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Tándem), Pt=2.5 | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 64 | 284.7 | 19.1000 | 17.6000 | 14.5000 | 12.2000 | 12.2000 | 13.7000 |
| 66 | 293.6 | 22.1000 | 20.3000 | 16.6000 | 13.8000 | 13.7000 | 15.4000 |
| 68 | 302.5 | 25.3000 | 23.3000 | 18.9000 | 15.6000 | 15.4000 | 17.2000 |
| 70 | 311.4 | 29.0000 | 26.6000 | 21.5000 | 17.6000 | 17.2000 | 19.2000 |
| 72 | 320.3 | 33.0000 | 30.3000 | 24.4000 | 19.8000 | 19.2000 | 21.3000 |
| 74 | 329.2 | 37.5000 | 34.4000 | 27.6000 | 22.2000 | 21.6000 | 23.6000 |
| 76 | 338.1 | 42.5000 | 38.9000 | 31.1000 | 24.8000 | 23.7000 | 26.1000 |
| 78 | 347 | 48.0000 | 43.9000 | 35.0000 | 27.8000 | 26.2000 | 28.8000 |
| 80 | 355.9 | 54.0000 | 49.4000 | 39.2000 | 30.9000 | 29.0000 | 31.7000 |
| 82 | 364.8 | 60.6000 | 55.4000 | 43.9000 | 34.4000 | 32.0000 | 34.8000 |
| 84 | 373.7 | 67.8000 | 61.9000 | 49.0000 | 38.2000 | 35.3000 | 38.1000 |
| 86 | 382.6 | 75.7000 | 69.1000 | 54.5000 | 42.3000 | 38.8000 | 41.7000 |
| 88 | 391.5 | 84.3000 | 76.9000 | 60.6000 | 46.8000 | 42.6000 | 45.6000 |
| 90 | 400.4 | 93.7000 | 85.4000 | 67.1000 | 51.7000 | 46.8000 | 49.7000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 4-6 Factor equivalente de carga para ejes Tridem pt=2.5

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Tridem), Pt=2.5 | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4 | 17.8 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 6 | 26.7 | 0.0006 | 0.0007 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0003 | 0.0003 |
| 8 | 35.6 | 0.0010 | 0.0020 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 |
| 10 | 44.5 | 0.0030 | 0.0040 | 0.0030 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0020 |
| 12 | 53.4 | 0.0050 | 0.0070 | 0.0060 | 0.0040 | 0.0030 | 0.0030 |
| 14 | 62.3 | 0.0080 | 0.0120 | 0.0100 | 0.0080 | 0.0060 | 0.0060 |
| 16 | 71.2 | 0.0120 | 0.0190 | 0.0180 | 0.0130 | 0.0110 | 0.0100 |
| 18 | 80 | 0.0180 | 0.0290 | 0.0280 | 0.0210 | 0.0170 | 0.0160 |
| 20 | 89 | 0.0270 | 0.0420 | 0.0420 | 0.0320 | 0.0270 | 0.0240 |
| 22 | 97.9 | 0.0380 | 0.0580 | 0.0600 | 0.0480 | 0.0400 | 0.0360 |
| 24 | 106.8 | 0.0530 | 0.0780 | 0.0840 | 0.0680 | 0.0570 | 0.0510 |
| 26 | 115.7 | 0.0720 | 0.1030 | 0.1140 | 0.0950 | 0.0800 | 0.0720 |
| 28 | 124.6 | 0.0980 | 0.1330 | 0.1510 | 0.1280 | 0.1090 | 0.0990 |
| 30 | 133.5 | 0.1290 | 0.1690 | 0.1950 | 0.1700 | 0.1450 | 0.1330 |
| 32 | 142.4 | 0.1690 | 0.1230 | 0.2470 | 0.2200 | 0.1910 | 0.1750 |
| 34 | 151.3 | 0.2190 | 0.2660 | 0.3080 | 0.2810 | 0.2460 | 0.2280 |
| 36 | 160 | 0.2790 | 0.3290 | 0.3790 | 0.3520 | 0.3130 | 0.2920 |
| 38 | 169.1 | 0.3520 | 0.4030 | 0.4610 | 0.4360 | 0.3930 | 0.3680 |
| 40 | 178 | 0.4390 | 0.4910 | 0.5540 | 0.5330 | 0.4870 | 0.4590 |
| 42 | 186.9 | 0.5430 | 0.5940 | 0.6610 | 0.6440 | 0.5970 | 0.5670 |
| 44 | 195.8 | 0.6660 | 0.7140 | 0.7810 | 0.7690 | 0.7230 | 0.6920 |
| 46 | 204.7 | 0.8110 | 0.8540 | 0.9180 | 0.9110 | 0.8680 | 0.8380 |
| 48 | 213.6 | 0.9790 | 1.0150 | 1.0720 | 1.0690 | 1.0330 | 1.0050 |
| 50 | 222.5 | 1.1700 | 1.2000 | 1.2400 | 1.2500 | 1.2200 | 1.2000 |
| 52 | 231.4 | 1.4000 | 1.4100 | 1.4400 | 1.4400 | 1.4300 | 1.4100 |
| 54 | 240.3 | 1.6600 | 1.6600 | 1.6600 | 1.6600 | 1.6600 | 1.6600 |
| 56 | 249.2 | 1.9500 | 1.9300 | 1.9000 | 1.9000 | 1.9100 | 1.9300 |
| 58 | 258.1 | 2.2900 | 2.2500 | 2.1700 | 2.1600 | 2.2000 | 2.2400 |
| 60 | 267 | 2.6700 | 2.6000 | 2.4800 | 2.4400 | 2.5100 | 2.5800 |
| 62 | 275.9 | 3.0900 | 3.0000 | 2.8200 | 2.7600 | 2.8500 | 2.9500 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Continuación del anexo 4-6

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Tridem), Pt=2.5 | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------|------------------|------------------|--------------------|-----------------|----------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 64 | 284.7 | 3.57 | 3.44 | 3.19 | 3.1 | 3.22 | 3.36 |
| 66 | 293.6 | 4.1100 | 3.9400 | 3.6100 | 3.4700 | 3.6200 | 3.8100 |
| 68 | 302.5 | 4.71 | 4.49 | 4.06 | 3.88 | 4.05 | 4.3 |
| 70 | 311.4 | 5.38 | 5.11 | 4.57 | 4.32 | 4.52 | 4.84 |
| 72 | 320.3 | 6.12 | 5.79 | 5.13 | 4.8 | 5.03 | 5.41 |
| 74 | 329.2 | 6.93 | 6.54 | 5.74 | 5.32 | 5.57 | 6.04 |
| 76 | 338.1 | 7.8400 | 7.3700 | 6.4100 | 5.8800 | 6.1500 | 6.7100 |
| 78 | 347 | 8.8300 | 8.2800 | 7.1400 | 6.4900 | 6.7800 | 7.4300 |
| 80 | 355.9 | 9.9200 | 9.2800 | 7.9500 | 7.1500 | 7.4500 | 8.2100 |
| 82 | 364.8 | 11.1000 | 10.4000 | 8.8000 | 7.9000 | 8.2000 | 9.0000 |
| 84 | 373.7 | 12.4000 | 11.6000 | 9.8000 | 8.6000 | 8.9000 | 9.9000 |
| 86 | 382.6 | 13.8000 | 12.9000 | 10.8000 | 9.5000 | 9.8000 | 10.9000 |
| 88 | 391.5 | 15.4000 | 14.3000 | 11.9000 | 10.4000 | 10.6000 | 11.9000 |
| 90 | 400.4 | 17.1000 | 15.8000 | 13.2000 | 11.3000 | 11.6000 | 12.9000 |
| 80 | 355.9 | 9.9200 | 9.2800 | 7.9500 | 7.1500 | 7.4500 | 8.2100 |
| 82 | 364.8 | 11.1000 | 10.4000 | 8.8000 | 7.9000 | 8.2000 | 9.0000 |
| 84 | 373.7 | 12.4000 | 11.6000 | 9.8000 | 8.6000 | 8.9000 | 9.9000 |
| 86 | 382.6 | 13.8000 | 12.9000 | 10.8000 | 9.5000 | 9.8000 | 10.9000 |
| 88 | 391.5 | 15.4000 | 14.3000 | 11.9000 | 10.4000 | 10.6000 | 11.9000 |
| 90 | 400.4 | 17.1000 | 15.8000 | 13.2000 | 11.3000 | 11.6000 | 12.9000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 4-7 Factor equivalente de cargas para ejes simples pt=3

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Simples), Pt=3.0 | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0008 | 0.0009 | 0.0006 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0002 |
| 4 | 17.8 | 0.0040 | 0.0080 | 0.0060 | 0.0040 | 0.0020 | 0.0020 |
| 6 | 26.7 | 0.0140 | 0.0300 | 0.0280 | 0.0180 | 0.0120 | 0.0100 |
| 8 | 35.6 | 0.0350 | 0.0700 | 0.0800 | 0.0550 | 0.0400 | 0.0340 |
| 10 | 44.5 | 0.0820 | 0.1320 | 0.1680 | 0.1320 | 0.1010 | 0.0860 |
| 12 | 53.4 | 0.1730 | 0.2310 | 0.2960 | 0.2600 | 0.2120 | 0.1870 |
| 14 | 62.3 | 0.3320 | 0.3880 | 0.4680 | 0.4470 | 0.3910 | 0.3580 |
| 16 | 71.2 | 0.5940 | 0.6330 | 0.6950 | 0.6930 | 0.6510 | 0.6220 |
| 18 | 80 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 20 | 89 | 1.6000 | 1.5300 | 1.4100 | 1.3800 | 1.4400 | 1.5100 |
| 22 | 97.9 | 2.4700 | 2.2900 | 1.9600 | 1.8300 | 1.9700 | 2.1600 |
| 24 | 106.8 | 3.6700 | 3.3300 | 2.6900 | 2.3900 | 2.6000 | 2.9600 |
| 26 | 115.7 | 5.2900 | 4.7200 | 3.6500 | 3.0800 | 3.3300 | 3.9100 |
| 28 | 124.6 | 7.4300 | 6.5600 | 4.8800 | 3.9300 | 4.1700 | 5.0000 |
| 30 | 133.5 | 10.2000 | 8.9000 | 6.5000 | 5.0000 | 5.1000 | 6.3000 |
| 32 | 142.4 | 13.8000 | 12.0000 | 8.4000 | 6.2000 | 6.3000 | 7.7000 |
| 34 | 151.3 | 18.2000 | 15.7000 | 10.9000 | 7.8000 | 7.6000 | 9.3000 |
| 36 | 160 | 23.8000 | 20.4000 | 14.0000 | 9.7000 | 9.1000 | 11.0000 |
| 38 | 169.1 | 30.6000 | 26.2000 | 17.7000 | 11.9000 | 11.0000 | 13.0000 |
| 40 | 178 | 38.8000 | 33.2000 | 22.2000 | 14.6000 | 13.1000 | 15.3000 |
| 42 | 186.9 | 48.8000 | 41.6000 | 27.6000 | 17.8000 | 15.5000 | 17.8000 |
| 44 | 195.8 | 60.6000 | 51.6000 | 34.0000 | 21.6000 | 18.4000 | 20.6000 |
| 46 | 204.7 | 74.7000 | 63.4000 | 41.5000 | 26.1000 | 21.6000 | 23.8000 |
| 48 | 213.6 | 91.2000 | 77.3000 | 50.3000 | 31.3000 | 25.4000 | 27.4000 |
| 50 | 222.5 | 110.0000 | 94.0000 | 61.0000 | 37.0000 | 30.0000 | 32.0000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 4-8 Factor equivalente de cargas para ejes Tándem pt=3

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Tándem), Pt=3.0 | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4 | 17.8 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 6 | 26.7 | 0.0030 | 0.0040 | 0.0030 | 0.0020 | 0.0010 | 0.0010 |
| 8 | 35.6 | 0.0060 | 0.0110 | 0.0090 | 0.0050 | 0.0030 | 0.0030 |
| 10 | 44.5 | 0.0110 | 0.0240 | 0.0200 | 0.0120 | 0.0080 | 0.0070 |
| 12 | 53.4 | 0.0190 | 0.0420 | 0.0390 | 0.0240 | 0.0170 | 0.0140 |
| 14 | 62.3 | 0.0310 | 0.0660 | 0.0680 | 0.0450 | 0.0320 | 0.0260 |
| 16 | 71.2 | 0.0490 | 0.0960 | 0.1090 | 0.0760 | 0.0550 | 0.0460 |
| 18 | 80 | 0.0750 | 0.1340 | 0.1640 | 0.1210 | 0.0900 | 0.0760 |
| 20 | 89 | 0.1130 | 0.1810 | 0.2320 | 0.1820 | 0.1390 | 0.1190 |
| 22 | 97.9 | 0.1660 | 0.2410 | 0.3130 | 0.2600 | 0.2050 | 0.1780 |
| 24 | 106.8 | 0.2380 | 0.3170 | 0.4070 | 0.3580 | 0.2920 | 0.2570 |
| 26 | 115.7 | 0.3330 | 0.4130 | 0.5170 | 0.4760 | 0.4020 | 0.3600 |
| 28 | 124.6 | 0.4570 | 0.5340 | 0.6430 | 0.6140 | 0.5380 | 0.4920 |
| 30 | 133.5 | 0.6160 | 0.6840 | 0.7880 | 0.7730 | 0.7020 | 0.6560 |
| 32 | 142.4 | 0.8170 | 0.8700 | 0.9560 | 0.9530 | 0.8960 | 0.8550 |
| 34 | 151.3 | 1.0700 | 1.1000 | 1.1500 | 1.1500 | 1.1200 | 1.0900 |
| 36 | 160 | 1.3800 | 1.3800 | 1.3800 | 1.3800 | 1.3800 | 1.3800 |
| 38 | 169.1 | 1.7500 | 1.7100 | 1.6400 | 1.6200 | 1.6600 | 1.7000 |
| 40 | 178 | 2.2100 | 2.1100 | 1.9400 | 1.8900 | 1.9800 | 2.0800 |
| 42 | 186.9 | 2.7500 | 2.5900 | 2.2900 | 2.1900 | 2.3300 | 2.5000 |
| 44 | 195.8 | 3.3900 | 3.1500 | 2.7000 | 2.5200 | 2.7100 | 2.9700 |
| 46 | 204.7 | 4.1500 | 3.8100 | 3.1600 | 2.8900 | 3.1300 | 3.5000 |
| 48 | 213.6 | 5.0400 | 4.5800 | 3.7000 | 3.2900 | 3.5700 | 4.0700 |
| 50 | 222.5 | 6.0800 | 5.4700 | 4.3100 | 3.7400 | 4.0500 | 4.7000 |
| 52 | 231.4 | 7.2700 | 6.4900 | 5.0100 | 4.2400 | 4.5700 | 5.3700 |
| 54 | 240.3 | 8.6500 | 7.6700 | 5.8100 | 4.7900 | 5.1300 | 6.1000 |
| 56 | 249.2 | 10.2000 | 9.0000 | 6.7000 | 5.4000 | 5.7000 | 6.9000 |
| 58 | 258.1 | 12.0000 | 10.6000 | 7.7000 | 6.1000 | 6.4000 | 7.7000 |
| 60 | 267 | 14.1000 | 12.3000 | 8.9000 | 6.8000 | 7.1000 | 8.6000 |
| 62 | 275.9 | 16.3000 | 14.3000 | 10.2000 | 7.7000 | 7.8000 | 9.5000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Continuación del anexo 4-8

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Tándem), Pt=3.0 | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 64 | 284.7 | 18.9000 | 16.4000 | 11.6000 | 8.6000 | 8.6000 | 10.5000 |
| 66 | 293.6 | 21.8000 | 18.9000 | 13.2000 | 9.6000 | 9.5000 | 11.6000 |
| 68 | 302.5 | 25.1000 | 21.7000 | 15.0000 | 10.7000 | 10.5000 | 12.7000 |
| 70 | 311.4 | 28.7000 | 24.7000 | 17.0000 | 12.0000 | 11.5000 | 13.9000 |
| 72 | 320.3 | 32.7000 | 28.1000 | 19.2000 | 13.3000 | 12.6000 | 15.2000 |
| 74 | 329.2 | 37.2000 | 31.9000 | 21.6000 | 14.8000 | 13.8000 | 16.5000 |
| 76 | 338.1 | 42.1000 | 36.0000 | 24.3000 | 16.4000 | 15.1000 | 17.9000 |
| 78 | 347 | 47.5000 | 40.6000 | 27.3000 | 18.2000 | 16.5000 | 19,4 |
| 80 | 355.9 | 53.4000 | 45.7000 | 30.5000 | 20.1000 | 18.0000 | 21.0000 |
| 82 | 364.8 | 60.0000 | 51.2000 | 34.0000 | 22.2000 | 19.6000 | 22.7000 |
| 84 | 373.7 | 67.1000 | 57.2000 | 37.9000 | 24.6000 | 21.3000 | 24.5000 |
| 86 | 382.6 | 74.9000 | 63.8000 | 42.1000 | 27.1000 | 23.2000 | 26.4000 |
| 88 | 391.5 | 83.4000 | 71.0000 | 46.7000 | 29.8000 | 25.2000 | 28.4000 |
| 90 | 400.4 | 92.7000 | 79.8000 | 51.7000 | 32.7000 | 27.4000 | 30.5000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 4-9 Factor equivalente de cargas para ejes Tridem pt=3

| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Tridem), Pt=3.0 | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 2 | 8.9 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4 | 17.8 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0001 |
| 6 | 26.7 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 |
| 8 | 35.6 | 0.0030 | 0.0040 | 0.0020 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 |
| 10 | 44.5 | 0.0050 | 0.0080 | 0.0050 | 0.0030 | 0.0020 | 0.0020 |
| 12 | 53.4 | 0.0070 | 0.0140 | 0.0100 | 0.0060 | 0.0040 | 0.0030 |
| 14 | 62.3 | 0.0110 | 0.0230 | 0.0180 | 0.0110 | 0.0070 | 0.0060 |
| 16 | 71.2 | 0.0160 | 0.0350 | 0.0300 | 0.0180 | 0.0130 | 0.0100 |
| 18 | 80 | 0.0220 | 0.0500 | 0.0470 | 0.0290 | 0.0200 | 0.0170 |
| 20 | 89 | 0.0310 | 0.0690 | 0.0690 | 0.0440 | 0.0310 | 0.0260 |
| 22 | 97.9 | 0.0430 | 0.0900 | 0.0970 | 0.0650 | 0.0460 | 0.0390 |
| 24 | 106.8 | 0.0590 | 0.1160 | 0.1320 | 0.0920 | 0.0660 | 0.0560 |
| 26 | 115.7 | 0.0790 | 0.1450 | 0.1740 | 0.1260 | 0.0920 | 0.0780 |
| 28 | 124.6 | 0.1040 | 0.1790 | 0.2230 | 0.1680 | 0.1260 | 0.1070 |
| 30 | 133.5 | 0.1360 | 0.2180 | 0.2790 | 0.2190 | 0.1670 | 0.1430 |
| 32 | 142.4 | 0.1760 | 0.2650 | 0.3420 | 0.2790 | 0.2180 | 0.1880 |
| 34 | 151.3 | 0.2260 | 0.3190 | 0.4130 | 0.3500 | 0.2790 | 0.2430 |
| 36 | 160 | 0.2860 | 0.3820 | 0.4910 | 0.4320 | 0.3520 | 0.3100 |
| 38 | 169.1 | 0.3590 | 0.4560 | 0.5770 | 0.5240 | 0.4370 | 0.3890 |
| 40 | 178 | 0.4470 | 0.5430 | 0.6710 | 0.6260 | 0.5360 | 0.4830 |
| 42 | 186.9 | 0.5500 | 0.6430 | 0.7750 | 0.7400 | 0.6490 | 0.5930 |
| 44 | 195.8 | 0.6730 | 0.7600 | 0.8890 | 0.8650 | 0.7770 | 0.7200 |
| 46 | 204.7 | 0.8170 | 0.8940 | 1.0140 | 1.0010 | 0.9200 | 0.8650 |
| 48 | 213.6 | 0.9840 | 1.0480 | 1.1520 | 1.1480 | 1.0800 | 1.0300 |
| 50 | 222.5 | 1.1800 | 1.2300 | 1.3000 | 1.3100 | 1.2600 | 1.2200 |
| 52 | 231.4 | 1.4000 | 1.4300 | 1.4700 | 1.4800 | 1.4500 | 1.4300 |
| 54 | 240.3 | 1.6600 | 1.6600 | 1.6600 | 1.6600 | 1.6600 | 1.6600 |
| 56 | 249.2 | 1.9500 | 1.9200 | 1.8600 | 1.8500 | 1.8800 | 1.9100 |
| 58 | 258.1 | 2.2800 | 2.2100 | 2.0900 | 2.0600 | 2.1300 | 2.2000 |
| 60 | 267 | 2.6600 | 2.5400 | 2.3400 | 2.2800 | 2.3900 | 2.5000 |
| 62 | 275.9 | 3.0800 | 2.9200 | 2.6100 | 2.5200 | 2.6600 | 2.8400 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Continuación del anexo 4-9

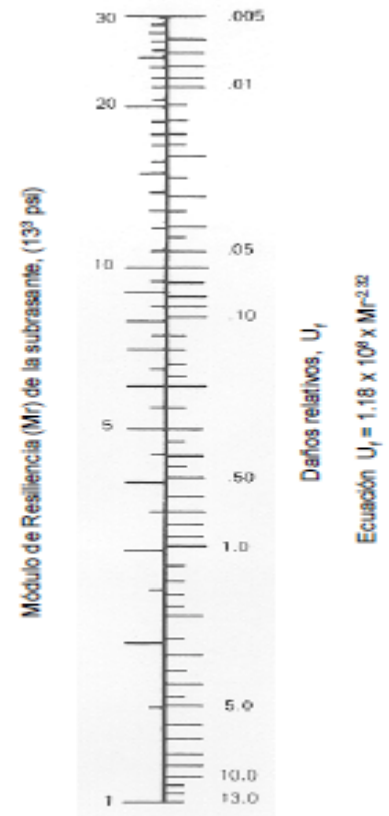
| Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles (Ejes Tridem), Pt=3.0 | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Carga por Eje | | Numero Estructural (SN) | | | | | |
| KLB | KN | 1plg (25.4mm) | 2plg (50.8mm) | 3plg (76.2mm) | 4 plg (101.6mm) | 5plg (127mm) | 6plg (152.4mm) |
| 64 | 284.7 | 3.5600 | 3.3300 | 2.9200 | 2.7700 | 2.9600 | 3.1900 |
| 66 | 293.6 | 4.0900 | 3.7900 | 3.2500 | 3.0400 | 3.2700 | 3.5800 |
| 68 | 302.5 | 4.6800 | 4.3100 | 3.6200 | 3.3300 | 3.6000 | 4.0000 |
| 70 | 311.4 | 5.3400 | 4.8800 | 4.0200 | 3.6400 | 3.9400 | 4.4400 |
| 72 | 320.3 | 6.0800 | 5.5100 | 4.4600 | 3.9700 | 4.3100 | 4.9100 |
| 74 | 329.2 | 6.8900 | 6.2100 | 4.9400 | 4.3200 | 4.6900 | 5.4000 |
| 76 | 338.1 | 7.7800 | 6.9800 | 5.4700 | 4.7000 | 5.0900 | 5.9300 |
| 78 | 347 | 8.7600 | 7.8300 | 6.0400 | 5.1100 | 5.5100 | 6.4800 |
| 80 | 355.9 | 9.8400 | 8.7500 | 6.6700 | 5.5400 | 5.9600 | 7.0600 |
| 82 | 364.8 | 11.0000 | 9.8000 | 7.4000 | 6.0000 | 6.4000 | 7.7000 |
| 84 | 373.7 | 12.3000 | 10.9000 | 8.1000 | 6.5000 | 6.9000 | 8.3000 |
| 86 | 382.6 | 13.7000 | 12.1000 | 8.9000 | 7.0000 | 7.4000 | 9.0000 |
| 88 | 391.5 | 15.3000 | 13.4000 | 9.8000 | 7.6000 | 8.0000 | 9.6000 |
| 90 | 400.4 | 16.9000 | 14.8000 | 10.7000 | 8.2000 | 8.5000 | 10.4000 |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 5. Métodos para el cálculo del módulo de Resiliencia de subrasante del pavimento flexible.

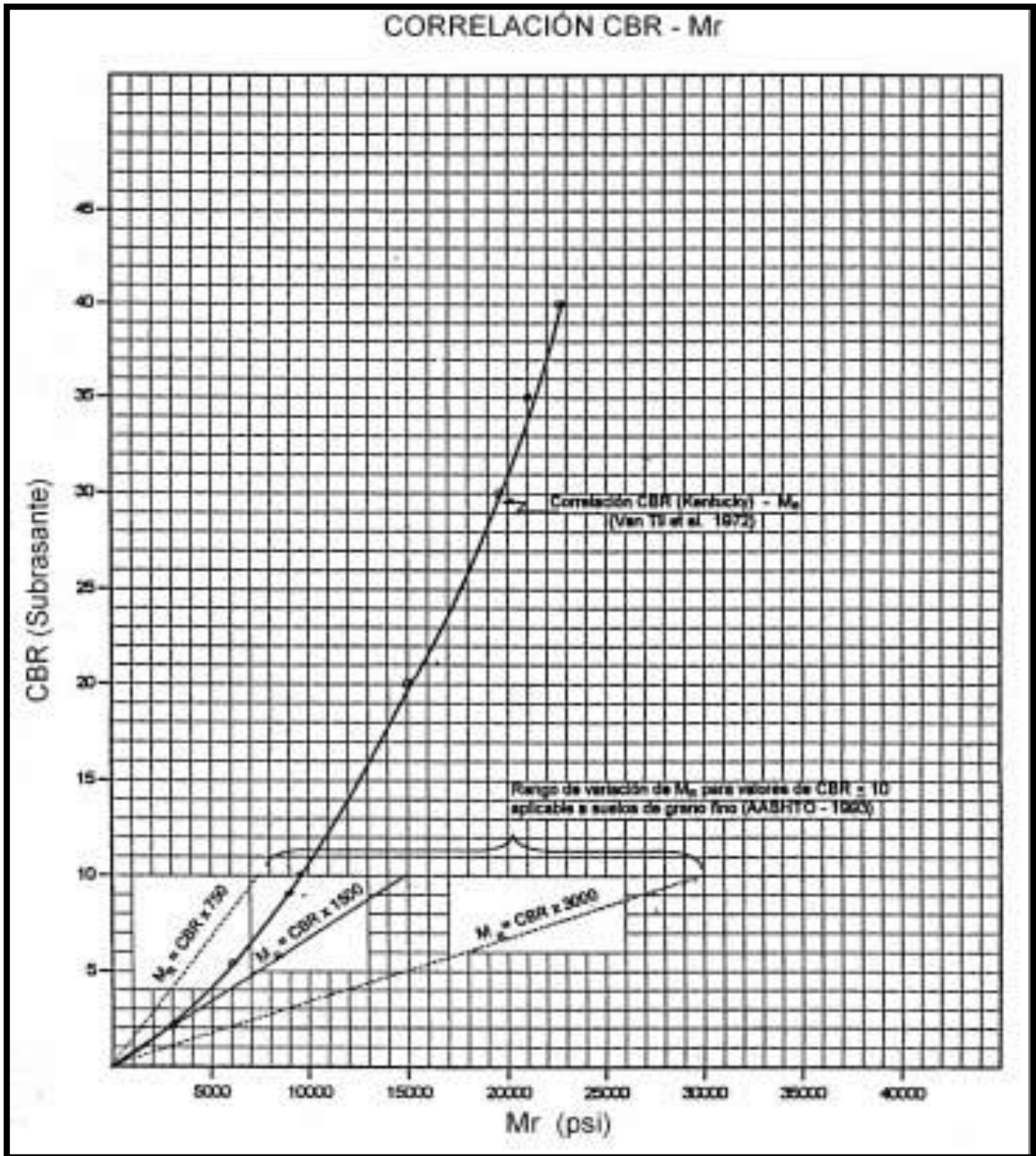
Anexo 5-1 Módulo efectivo de Resiliencia de la sub-rasante en función del criterio de serviciabilidad

| No. | Meses | Módulo de la subrasante Mr (PSI) | Daño Relativo U _f |
|-----|------------|----------------------------------|------------------------------|
| 1 | Enero | 20,000 | 0.012402 |
| 2 | Febrero | 20,000 | 0.012402 |
| 3 | Marzo | 2,500 | 1.544049 |
| 4 | Abril | 4,000 | 0.518923 |
| 5 | Mayo | 4,000 | 0.518923 |
| 6 | Junio | 7,000 | 0.141662 |
| 7 | Julio | 7,000 | 0.141662 |
| 8 | Agosto | 7,000 | 0.141662 |
| 9 | Septiembre | 7,000 | 0.141662 |
| 10 | Octubre | 7,000 | 0.141662 |
| 11 | Noviembre | 4,000 | 0.518923 |
| 12 | Diciembre | 20,000 | 0.012402 |
| | | Suma U_f | 3.846336 |
| | | U_f promedio | 0.3205280039 |



Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

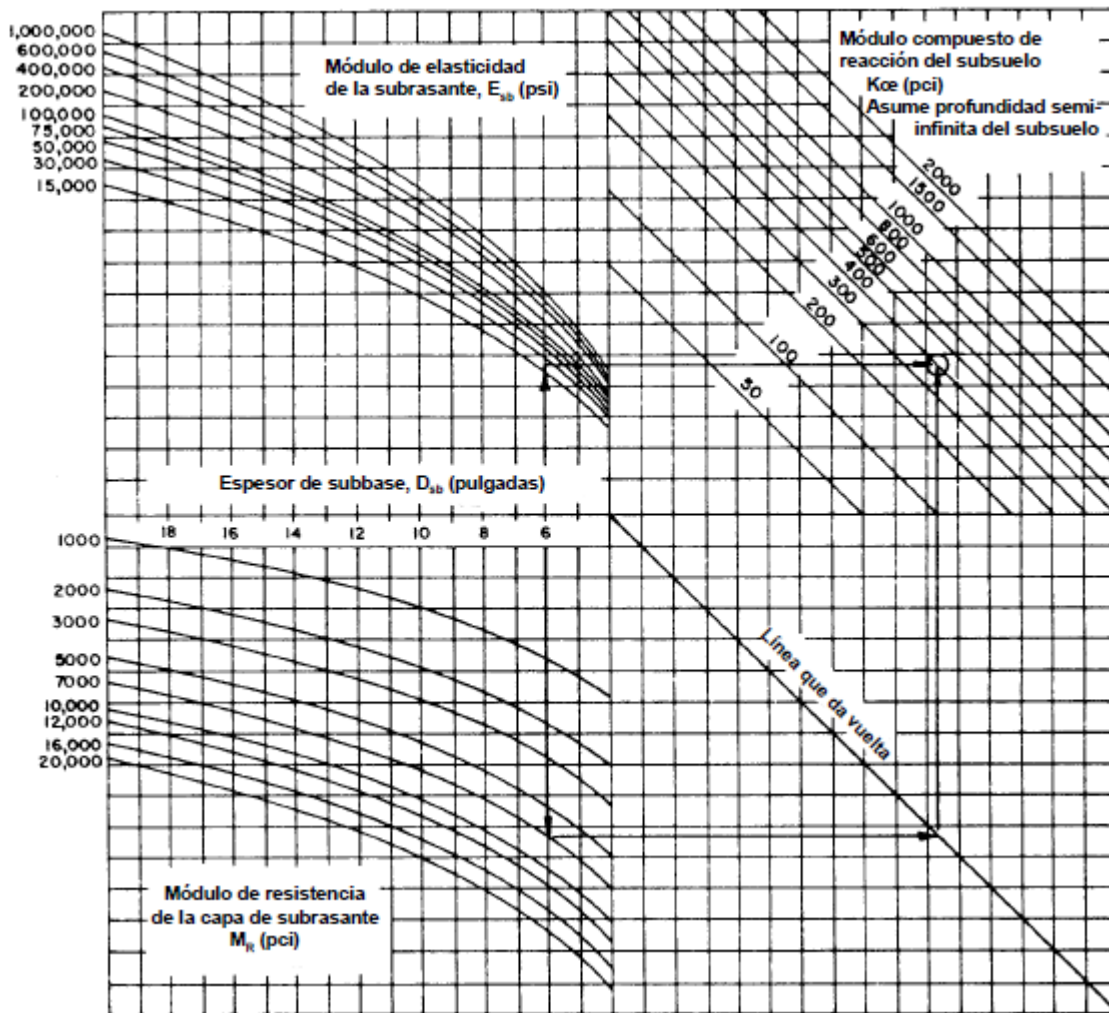
Anexo 5-2 Correlación del CBR con el MR de sub-rasante



Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

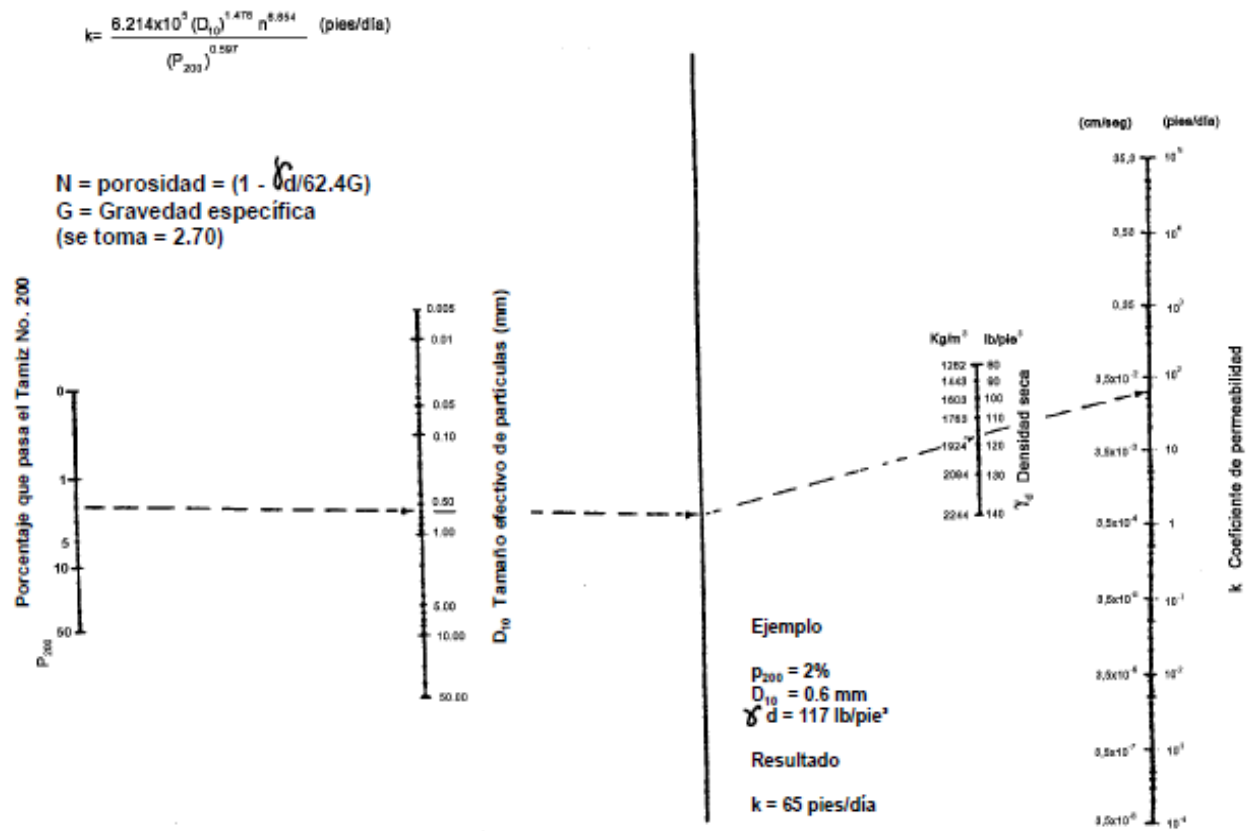
Anexo 5-3 Modulo compuesto de reacción de la sub-rasante

Comparación Técnico-Económica del Uso de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible en Nicaragua. Estudio de Caso: Tramo Unikwas-Mulukuku



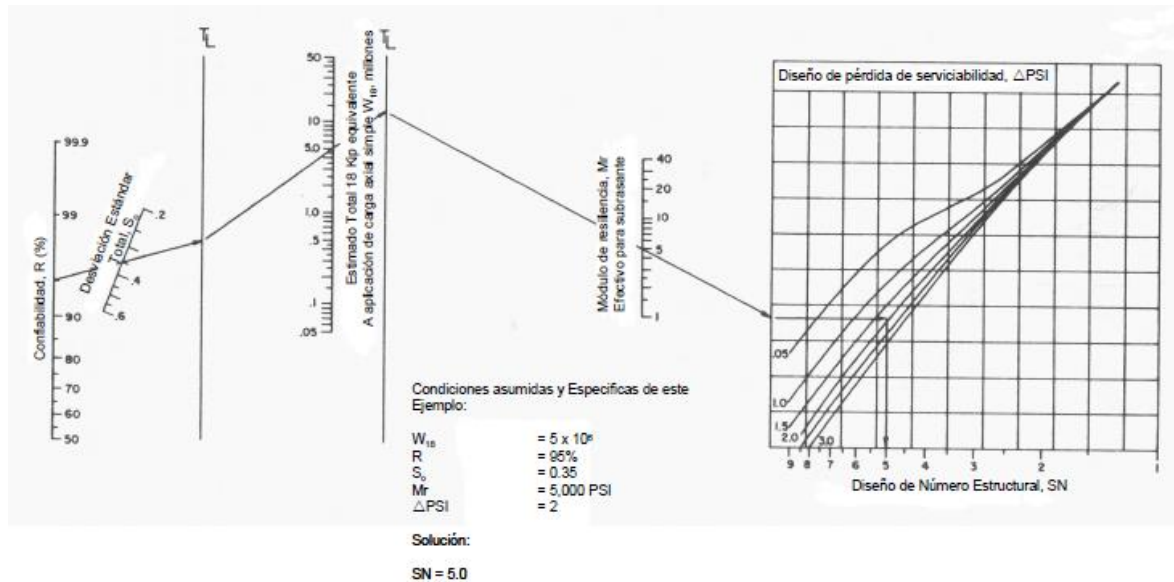
Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 5-4 Diagrama para calcular la permeabilidad



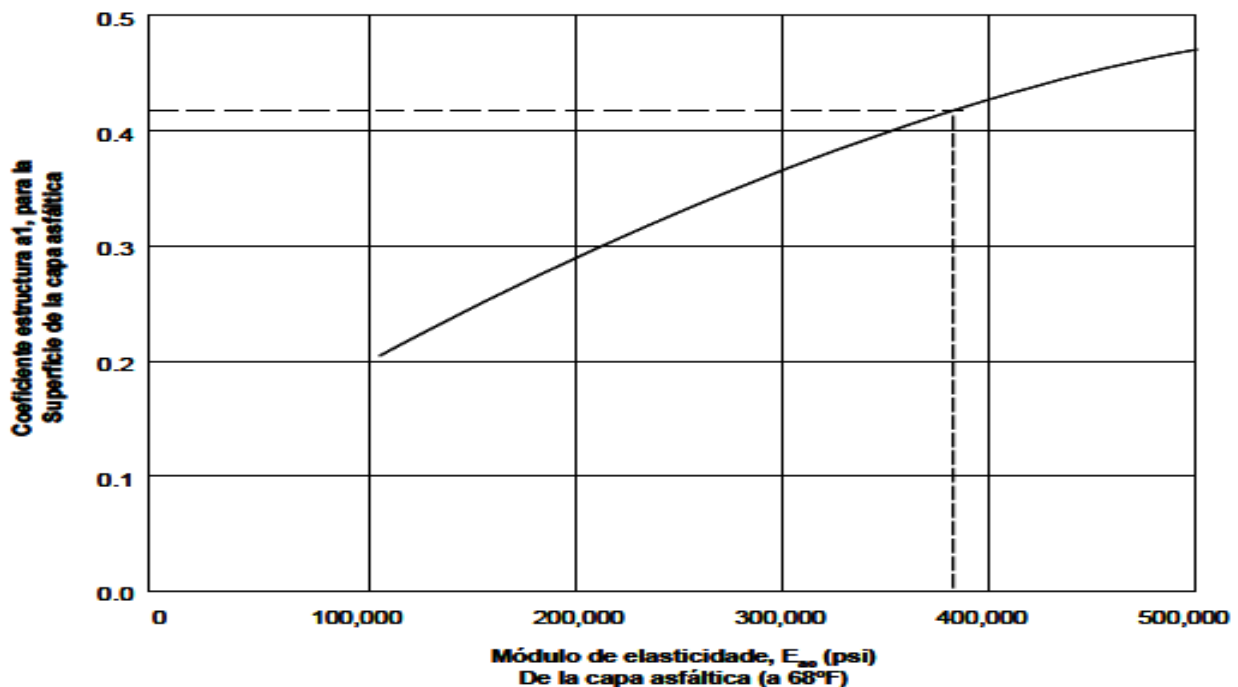
Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo5-5 Diagrama para determinar el Numero Estructural del pavimento.



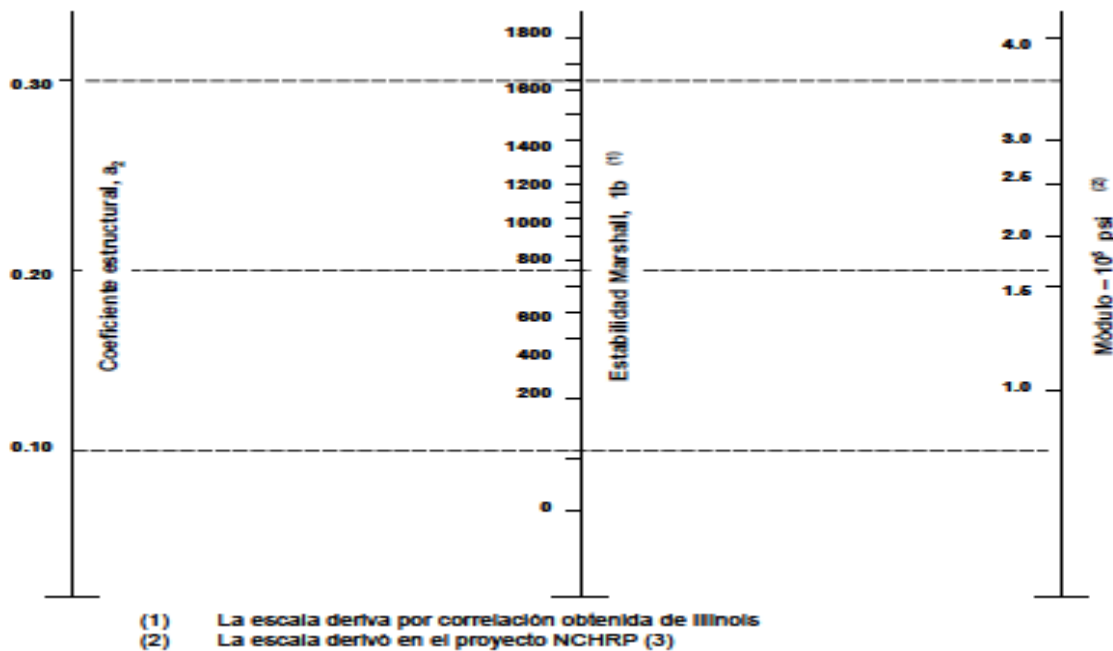
Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexos 5-6 Coeficientes de capa.



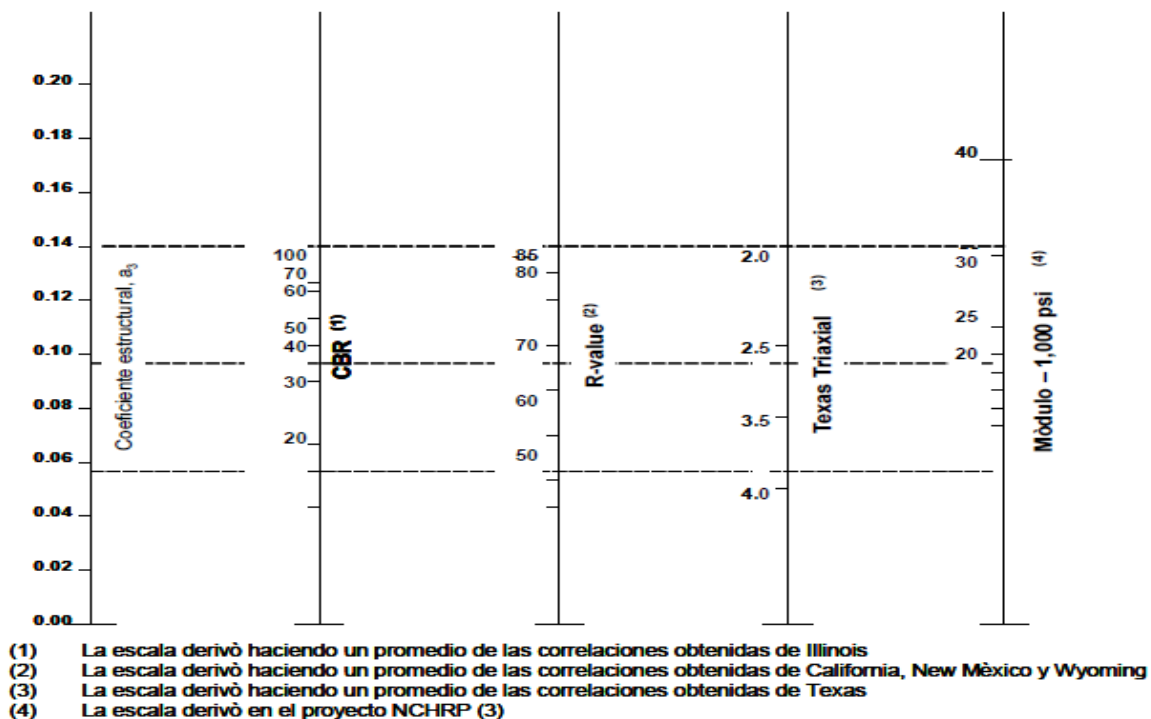
Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 5-6-1 Variación del coeficiente estructural de capa de concreto asfáltico



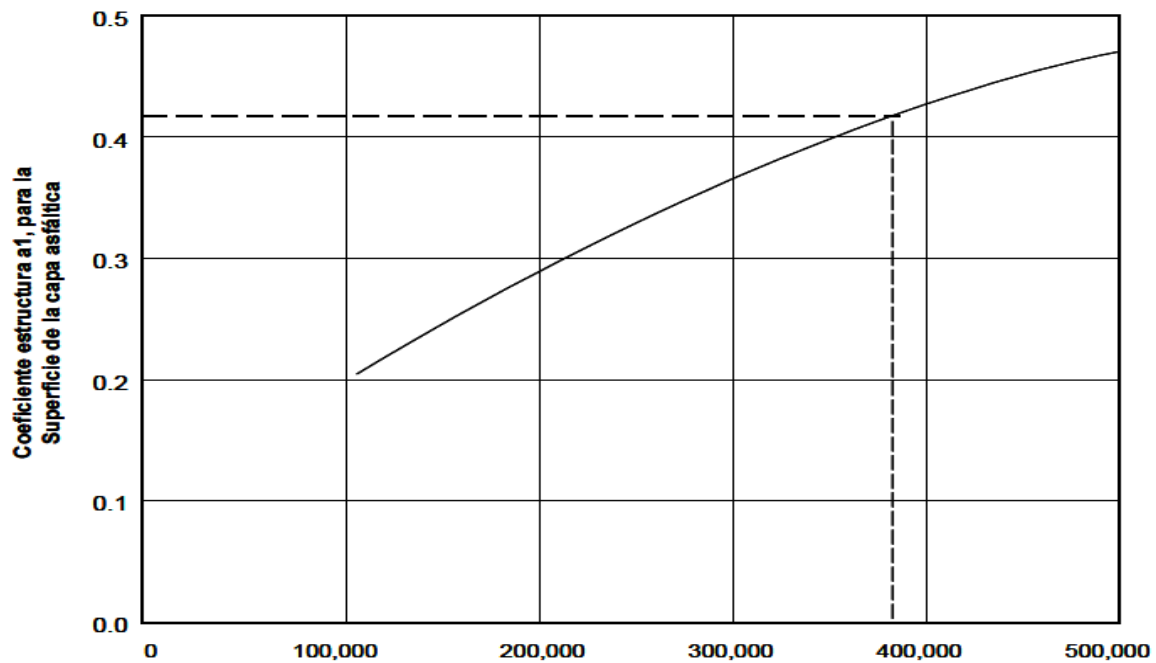
Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 5-6-2 Variación en el coeficiente estructural de la capa de base (fig. 7.5 SIECA)



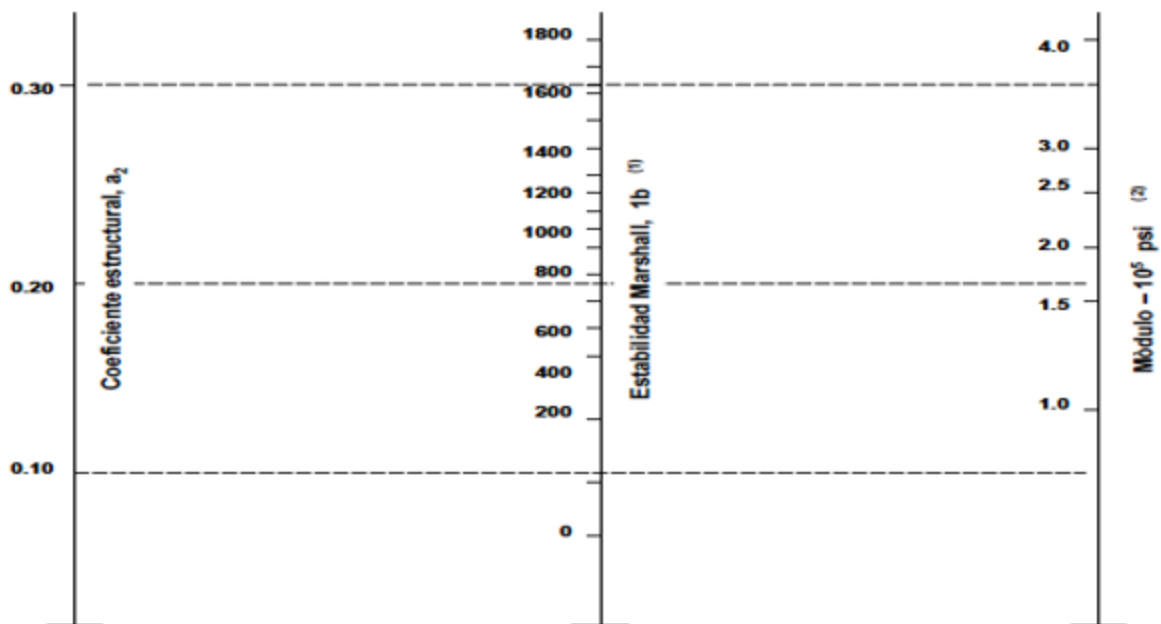
Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 5-6-3 Coeficiente de capa a partir del módulo de resiliencia del concreto asfalto



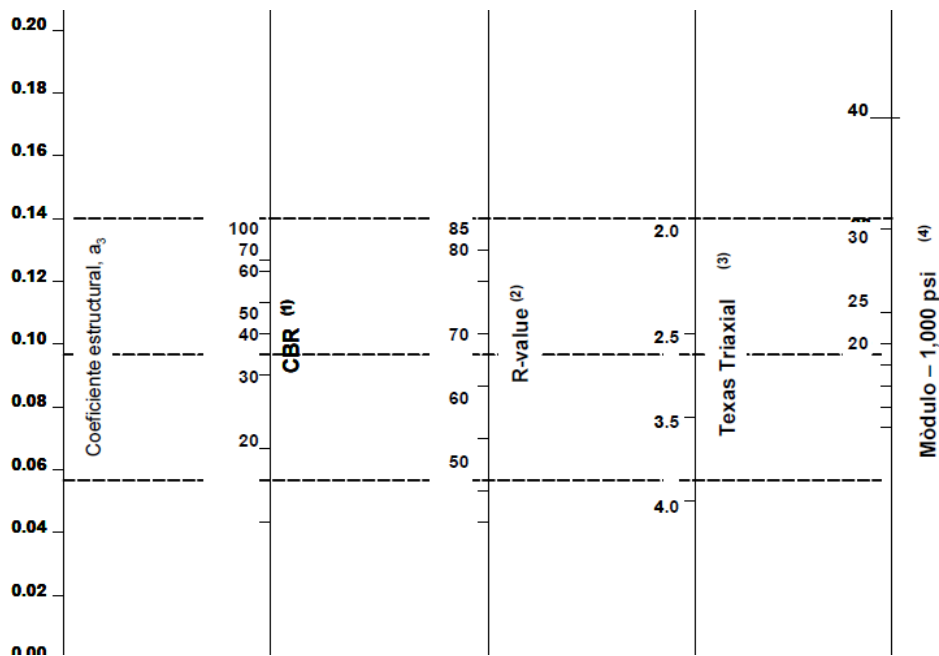
Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 5-6-4 Variación del coeficiente estructural de capa concreto asfáltico.



Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 5-6-5 Coeficiente de capa en función del CBR



Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexo 6- Tabla AASHTO para el Cálculo de secciones homogéneas para determinar el CBR de diseño del proyecto

| Col.1 estacion Distancia | Col.2. Valor de respuesta del pavimento r _i | Col.3 Numero de intervalos (n) | Col.4. Intervalo de distancia Δx _i | Col.5. Intervalo de distancia acumulada ΣΔx _i | Col.6. Intervalo de respuesta promedio r _i | Col.7. Intervalo actual de área a _i | Col.8 Área acumulada Σa _i | Valor de z _x = Col.8-F*col5 |
|--------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | r ₁ | 1 | Δx ₁ | Δx ₁ | r̄ ₁ =r ₁ | A ₁ = r̄ ₁ Δx ₁ | A ₁ | Z _{x1} =a ₁ -F* Δx ₁ |
| 2 | r ₂ | 2 | Δx ₂ | Δx ₁ + Δx ₂ | r̄ ₂ =(r ₁ +r ₂)/2 | a ₂ = r̄ ₂ δx ₂ | A | Z _{x2} =(a ₁ +a ₂)-F* (Δx ₁ + Δx ₂) |
| 3 | r ₃ | 3 | Δx ₃ | Δx ₁ + Δx ₂ + Δx ₃ | r̄ ₃ =(r ₂ +r ₃)/2 | a ₃ = r̄ ₃ δx ₃ | a ₁ +a ₂ +a ₃ | Z _{xnt} =(a ₁ +a _{nt})-F* (Δx ₁ + Δx _{nt}) |
| L _p | R _n | N _t | Δx _{tk} | Δx ₁ +...+ Δx _{tk} | r̄ _{tk} =(r _n -1+r _n)/2 | a _{n1} = r̄ _{n1} δx _{n1} | a ₁ +a _{2t} | |
| | | | | | | | At=Σ _{i=1} ^{ht} a _i | |
| | | | | | | | F*=At/L _p | |

Fuente: (AASHTO, Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993).

Anexos 8 Ensayos de suelo a lo largo de la carretera Unikwas-Mulukuku

Anexos 8-1 Sondeos en el centro y lados de la carretera a partir de la estación 3+000 y la estación 6+000.

| Sondeos En Centro Y Lados De La Carretera | | | | |
|-------------------------------------------|-----------|------------|--------------------------|----------------------------------------------------------|
| Estación | Sondeo No | Muestra No | Profundidad Cm | Descripción Visual |
| 3+000 | 13 | 25 | 10 | Grava arcillosa color café y rojo |
| l/c | 13 | 26 | oct-70 | limo arenoarcilloso con grava color gris claro |
| | 13 | 27 | 70-1.5 | arcillogravoso limoso color café oscuro |
| 3+250 | 14 | 28=2 | 0-50 | gravoarcilloso color café y rojo |
| L/Der | 14 | 29=25 | 50-1.5 | Limo arcilloso color café claro |
| 3+500 | 15 | 30=2 | 0-60 | Grava arcillosa color café y rojo |
| L/F2Q | 15 | 32 | 60-80 | Arcilla limosa color amarillento |
| | 15 | 80 | roca no se pudo penetrar | |
| 3+750 | 16 | 32=2 | 0-10 | grava arcillosa color café y rojo |
| L/C | 16 | 33=10 | oct-50 | limo arcilloso color gris claro |
| | 16 | 34 | 50-1.5 | arcilla gravosa conglomerada color gris y pintas verdes |
| 4+000 | 17 | 35=2 | 0-15 | Grava arcillosa color café y rojo |
| L/DER | 17 | 36 | 15-80 | arcilla limosa color café oscuro |
| | 17 | 37=27 | 80-1.5 | limo arena arcillosa con grava color gris claro |
| 4+250 | 18 | 38=20 | 0-30 | Grava arenosa color gris claro |
| L/72Q | 18 | 40 | 70-1.5 | arcilla altamente plastica conglomerada color café claro |
| 4+500 | 19 | 41=2 | 0-15 | Grava arcillosa color café y rojo |
| L/C | 19 | 42=27 | 15-30 | Limo arenoso arcilloso con grava color gris claro |
| | 19 | 43 | 30-ene | cascajo arenoso color gris oscuro |
| | 19 | | 1 | roca no se pudo penetrar |

Fuente: (LLANSA, 2015).

Comparación Técnico–Económica del Uso de Pavimento Rígido y Pavimento Flexible en Nicaragua. Estudio de Caso: Tramo Unikwas-Mulukuku

Continuación de anexo 8-1

| Estación | Sondeo No | Muestra No | Profundidad Cm | Descripción Visual |
|----------|-----------|------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 4+750 | 20 | 44=2 | 0-10 | Grava Arcillosa Color Café Y Rojo |
| L/DER | 20 | 45=27 | 10 a 60 | Limo Arenoso Arcilloso Con Grava Color Gris Claro |
| | 20 | 46=41 | 60-1.5 | Arcilla Altamente Plastica Conglomerada Color Café Claro |
| 5+000 | 21 | 47=2 | 0-10 | Grava Arcillosa Color Café Y Rojo |
| L/lzq | 21 | 48=27 | 10 a 40 | Limo Arenoso Arcilloso Con Grava Color Gris Claro |
| | 21 | 49 | 40 a 1.4 | Arcilla Gravosa Color Café Oscuro |
| 5+250 | 22 | 50=2 | 0-70 | Grava Arcillosa Color Café Y Rojo |
| L/C | | | 70 | Roca No Se Pudo Pasar |
| 5+500 | 23 | 51 | 0-10 | Grava Arcillosa Color Café Y Rojo |
| L/DER | 23 | 52=10 | 10 a 20 | Limo Arcilloso Color Gris Claro |
| | 23 | 53 | 20-1.5 | Arena Arcillosa Color Amarillento |
| 5+750 | 24 | 54=2 | 0-40 | Grava Arcillosa Color Café Y Rojo |
| L/lzq | 24 | 55=41 | 40-1.4 | Arcilla Altamente Plastica Conglomerada Color Café Claro |
| 6+000 | 25 | 56 | 0-0.9 | Arena Con Bolones De Rio Color Gris |
| L/C | 25 | 57 | 0.9-26 | Arena Con Poca Arcilla Con Bolones De Rio Color Café Claro |
| | 25 | 58 | 26-1.3 | Limo Arena Arcilloso Con Cascajo Con Pintas Amarillo Color Gris Claro |
| | 25 | | 1.3 | Roca Dura |

Fuente: (LLANSA, 2015).

Anexo 8-2 Ensayos de granulometría

| Estación 3+000 | | | Muestra | 27 |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| | | | Profundidad | 70-1.5 |
| Malla | peso retenido parcial | % retenido parcial | % porcentaje acumulado | % que pasa la malla |
| 2" | 234 | 5 | 5 | 95 |
| 1 1/2" | 206 | 4 | 9 | 91 |
| 1 | 214 | 5 | 14 | 86 |
| 3/4" | 188 | 4 | 18 | 82 |
| 1/2" | 590 | 13 | 31 | 69 |
| 3/8" | 925 | 9 | 40 | 60 |
| No.4 | 859 | 18 | 58 | 42 |
| pasa No 4 | 2005 | 42 | 42 | |
| suma | 4716 | 100 | 100 | |
| Composición Granulométrica del material tamizado por malla No. Por lavado | | | | |
| Mala No | Peso Retenido Parcial Gr | %Retenido Parcial | %Retenido Acumulado | %Que Pasa La Malla |
| 10 | 21.3 | 9 | 9 | 33 |
| 20 | | | | |
| 40 | 22 | 10 | 19 | 23 |
| 60 | | | | |
| 100 | | | | |
| 200 | 10.5 | 4 | 23 | 19 |
| pasa No.200 | 44.8 | 19 | 42 | |
| suma | 99 | 42 | | |
| GM, A-2-7 | | | | |
| Peso seco gr | 99 | peso seco | 6=58 | |
| peso seco lavado gr | 54.2 | peso seco lavado gr | 5=23 | |
| Diferencia 1-2=3 | 44.8 | diferencia | F=19 | |
| pasa No.200 | 0 | pasa No 200 | 0 | |
| Grava limo arcilloso con grava café oscuro | | | | |

Fuente: (LLANSA, 2015).

Anexo 8-3 Límites de Plasticidad

| Profundidad | | | 70-1.5 |
|-------------------------|------------|-------|--------|
| | N0. Golpes | | |
| Numero De Golpes | 30 | 23 | 18 |
| Recipiente No | 371 | 352 | 502 |
| Pw Mas Recipiente | 28 | 29.6 | 29.8 |
| Ps Más Recipiente | 24.6 | 25.9 | 26.4 |
| | | | |
| Agua (1)-(2)=3 | 3.4 | 3.2 | 3.4 |
| Ps Más Recipiente (2) | | | |
| Recipiente G | 16.4 | 17.4 | 18.3 |
| Ps: (2)(4)=5 | 8.2 | 8.5 | 8.1 |
| % De Agua (100)(3)(5)=6 | 41.41 | 43.52 | 41.97 |
| Factor =K | 1.022 | 0.99 | 0.961 |
| Limite Liquido | 42.37 | 43.08 | 40.33 |

Fuente: (LLANSA, 2015).

Continuación de tabla 8-3

| Limite Plástico | Muestra | | Contracción Lineal |
|----------------------------------|----------------|-------|---------------------------|
| recipiente No | 56 | 8 | |
| PW mas recipiente | 30.6 | 31.1 | L.L=42 |
| PS más recipiente | 27.8 | 28.2 | LP=27 |
| agua (8)-(9)=(10) | 2.8 | 2.9 | IP=15% |
| PS más recipiente (9) | | | |
| recipiente (11) | 17.3 | 17.8 | |
| PS | 10.5 | 10.4 | |
| Limite plástico 100(10)(12)=(13) | 26.66 | 27.88 | |

Fuente: (LLANSA, 2015).

Anexo 9 -Levantamiento Topográfico.

Estacionamientos a cada 20 metros (Tramo Unikwas-Mulukuku).

| Estación | Elevación (m) | Estación | Elevación (m) | Estación | Elevación (m) |
|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| 0+000 | 110.796 | 0+500 | 108.901 | 1+000 | 101.873 |
| 0+020 | 110.496 | 0+520 | 108.673 | 1+020 | 101.515 |
| 0+040 | 110.197 | 0+540 | 108.34 | 1+040 | 101.13 |
| 0+060 | 109.897 | 0+560 | 107.814 | 1+060 | 100.745 |
| 0+080 | 109.598 | 0+580 | 107.094 | 1+080 | 100.36 |
| 0+100 | 109.298 | 0+600 | 106.182 | 1+100 | 99.975 |
| 0+120 | 108.998 | 0+620 | 105.173 | 1+120 | 99.59 |
| 0+140 | 108.714 | 0+640 | 104.164 | 1+140 | 99.205 |
| 0+160 | 108.481 | 0+660 | 103.155 | 1+160 | 98.835 |
| 0+180 | 108.301 | 0+680 | 102.145 | 1+180 | 98.574 |
| 0+200 | 108.175 | 0+700 | 101.214 | 1+200 | 98.435 |
| 0+220 | 108.102 | 0+720 | 100.438 | 1+220 | 98.421 |
| 0+240 | 108.083 | 0+740 | 99.818 | 1+240 | 98.529 |
| 0+260 | 108.117 | 0+760 | 99.353 | 1+260 | 98.745 |
| 0+280 | 108.205 | 0+780 | 99.044 | 1+280 | 98.977 |
| 0+300 | 108.344 | 0+800 | 98.891 | 1+300 | 99.209 |
| 0+320 | 108.498 | 0+820 | 98.893 | 1+320 | 99.441 |
| 0+340 | 108.652 | 0+840 | 99.05 | 1+340 | 99.673 |
| 0+360 | 108.806 | 0+860 | 99.363 | 1+360 | 99.904 |
| 0+380 | 108.96 | 0+880 | 99.832 | 1+380 | 100.136 |
| 0+400 | 109.106 | 0+900 | 100.378 | 1+400 | 100.368 |
| 0+420 | 109.196 | 0+920 | 100.925 | 1+420 | 100.6 |
| 0+440 | 109.22 | 0+940 | 101.471 | 1+440 | 100.832 |
| 0+460 | 109.178 | 0+960 | 101.871 | 1+460 | 101.064 |
| 0+480 | 109.072 | 0+980 | 102.005 | 1+480 | 101.295 |
| 1+500 | 101.527 | 2+000 | 97.841 | 2+500 | 98.844 |
| 1+520 | 101.759 | 2+020 | 97.117 | 2+520 | 99.229 |
| 1+540 | 101.991 | 2+040 | 96.422 | 2+540 | 99.565 |
| 1+560 | 102.222 | 2+060 | 95.86 | 2+560 | 99.694 |
| 1+580 | 102.446 | 2+080 | 95.439 | 2+580 | 99.606 |
| 1+600 | 102.659 | 2+100 | 95.161 | 2+600 | 99.299 |
| 1+620 | 102.86 | 2+120 | 95.024 | 2+620 | 98.779 |
| 1+640 | 103.051 | 2+140 | 95.029 | 2+640 | 98.184 |
| 1+660 | 103.232 | 2+160 | 95.147 | 2+660 | 97.507 |
| 1+680 | 103.409 | 2+180 | 95.278 | 2+680 | 96.672 |
| 1+700 | 103.586 | 2+200 | 95.459 | 2+700 | 95.713 |

Fuente: (LLANSA, 2015).

Continuación Anexo 9

| Estación | Elevación (m) | Estación | Elevación (m) | Estación | Elevación (m) |
|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| 1+720 | 103.764 | 2+220 | 95.696 | 2+720 | 94.882 |
| 1+740 | 103.941 | 2+240 | 95.878 | 2+740 | 94.236 |
| 1+760 | 104.083 | 2+260 | 95.96 | 2+760 | 93.775 |
| 1+780 | 104.103 | 2+280 | 96.011 | 2+780 | 93.499 |
| 1+800 | 103.997 | 2+300 | 96.061 | 2+800 | 93.408 |
| 1+820 | 103.766 | 2+320 | 96.112 | 2+820 | 93.49 |
| 1+840 | 103.409 | 2+340 | 96.167 | 2+840 | 93.612 |
| 1+860 | 102.927 | 2+360 | 96.308 | 2+860 | 93.867 |
| 1+880 | 102.318 | 2+380 | 96.56 | 2+880 | 94.342 |
| 1+900 | 102.318 | 2+400 | 96.918 | 2+900 | 95.037 |
| 1+920 | 100.823 | 2+420 | 97.304 | 2+920 | 95.821 |
| 1+940 | 100.058 | 2+440 | 97.689 | 2+940 | 96.606 |
| 1+960 | 99.306 | 2+460 | 98.074 | 2+960 | 97.388 |
| 1+980 | 98.567 | 2+480 | 98.459 | 2+980 | 98.12 |
| | | | | 3+000 | 98.783 |

Estacionamientos a cada 20 metros del Tramo de Carretera y sus Niveles (Unikwas-Mulukuku). Fuente: (LLANSA, 2015).

Anexo 10-Bancos de préstamos cercanos al proyecto.

| Nombre del Banco de Préstamo | Coordenadas Geográficas | Distancia del Banco al Proyecto (Km) | Volumen Aproximado (m³) | Descripción del Suelo | Clasificación de los Suelos | |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------|------|
| | | | | | AASHTO | SUCS |
| Francisco Solano | Latitud 13°13.178' (Hemisferio Norte) y Longitud 84°56.771' (Hemisferio Occidental) | 3.5 | 35000 | Limo de Baja Plasticidad Color Café oscuro | A-2-5 (0) | GW |
| Roger Treminio | Latitud 13°08.909' (Hemisferio Norte) y Longitud 84°59.107' (Hemisferio Occidental) | 1.9 | 12000 | Grava Limo Arcillosa con Arena color Gris Claro | A-2-7 (0) | GM |
| Noel Montoya Valle | Latitud 13°11.181' (Hemisferio Norte) y Longitud 84°57.050' (Hemisferio Occidental) | 1.1 | 12000 | Grava con Poco Limo y Arena | A-1-a (0) | GP |

Fuente: (LLANSA, 2015).