

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES SEGÚN LA GUÍA DE DISEÑO AASHTO  
2002 NIVEL 3 PARA LAS CIUDADES DE IPIALES Y PASTO DEL  
DEPARTAMENTO DE NARIÑO.

KAREN PATRICIA MOSQUERA IBARRA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2014.

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES SEGÚN LA GUÍA DE DISEÑO AASHTO  
2002 NIVEL 3 PARA LAS CIUDADES DE IPIALES Y PASTO DEL  
DEPARTAMENTO DE NARIÑO.

KAREN PATRICIA MOSQUERA IBARRA.

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniera Civil.

Director:  
Ing. Esp. LUIS ARMANDO MERINO.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2014.

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD.**

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva del autor”.

Artículo 1º del acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

## COMENTARIOS

---

Ing. Esp. LUIS ARMANDO MERINO CHAMORRO.  
Director.

---

Ing. Esp. GUILLERMO MUÑOZ RICAURTE.  
Jurado.

---

Ing. Esp. WILLAN RODRIGUEZ GRANJA.  
Jurado.

San Juan de Pasto, Junio de 2014.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo de grado se hizo posible gracias a la colaboración y apoyo de:

Reconocimiento especial al ING.ESP. LUIS ARMANDO MERINO, Director del trabajo de grado, por compartir sus conocimientos y experiencia conmigo, por su valiosa asesoría académica y personal, para lograr una correcta ejecución del proyecto.

Al ING. ESP. GUILLERMO MUÑOZ y al ING. ESP: WILLAN RODRIGUEZ GRANJA., Docentes del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño, por compartir sus conocimientos y asesorar con su gran experiencia.

A la Universidad de Nariño, especialmente el Departamento de Ingeniería Civil, docentes y personal administrativo, por mi formación profesional.

## **Dedicado a....**

Dios por ser mi guía a lo largo

De este camino llamado vida.

A mis padres por la dedicación, apoyo  
y entrega sin condiciones a pesar de las dificultades.

A mi pareja por el amor y la paciencia

Depositadas en mí.

Sin ustedes esta travesía no hubiese sido posible, los amo.

## **RESUMEN**

El presente trabajo expone la manera como se elaboró el diseño de pavimentos flexibles según la guía de diseño AASHTO 2002 MEPDG en el NIVEL 3 y el método de diseño del Manual del Instituto Nacional de Vías para las ciudades de Ipiales y Pasto del departamento de Nariño. Se debe destacar que en el primer método los modelos de deterioro no han sido calibrados para la realidad nacional. A partir de los resultados obtenidos por los dos métodos se efectúa un comparativo de las estructuras obtenidas.

Una variable importante que se incorpora al diseño del método AASHTO 2002 MEPDG en el NIVEL 3 es el clima, su introducción al proyecto se hace mediante una estación climática ajustada a la región estudiada, ésta es creada a partir de datos de temperatura, velocidad del viento, nubosidad, precipitación y humedad relativa. En la estructuración del pavimento se escogen diseños que cumplen con las especificaciones nacionales. En este método hay un nuevo concepto en cuanto a los datos de tránsito se refiere: el espectro normalizado de carga por eje en reemplazo de los ejes equivalentes. Para obtener esta variable se utilizó el número de repeticiones de carga.

Palabras clave: diseño de pavimentos, AASHTO 2002, pavimento, diseño.

## **ABSTRACT**

This paper presents the way they developed the flexible pavement design according to the 2002 AASHTO Design Guide MEPDG in LEVEL 3 and the design method of manual national roads for the cities of Ipiales and Pasto (Nariño). It should be noted that in the first method deterioration models have not been calibrated to the national reality. From the results obtained by the two methods is carried out a comparison of the structures obtained.

An important variable that incorporates the design of the 2002 AASHTO MEPDG in LEVEL 3 is the climate, the introduction to the project is done by a weather station set to the region studied, this is created from data on temperature, wind speed, cloudiness, precipitation and relative humidity. The pavement structure designs are chosen that meet national specifications. In this method there is a new concept in data traffic is concerned: the spectrum normalized axle load equivalent replacement shafts. For this variable is used the number of load repetitions.

Keywords: pavements design, AASHTO 2002, pavement, design.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
1. MARCO REFERENCIAL.....	17
1.1. METODOS DE DISEÑO.....	17
1.1.1. Métodos empíricos.....	17
1.1.2. Métodos mecanicistas.....	18
1.1.3. Método mecánico empírico.....	18
1.2. PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	19
1.2.1. Método AASHTO 1993.....	19
1.2.2 Método del instituto nacional de vías.....	20
2. GUIA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EMPÍRICO – MECANICISTA MEPDG 2002.....	26
2.1. GENERALIDADES.....	26
2.2. NIVELES DE JERARQUIA.....	29
2.3 PROGRAMA MEPDG.....	30
2.4. REPORTE DEL SOFTWARE DE AASHTO 2002.....	39
3. DISEÑO DE ESTRUCTURAS MEDIANTE LA GUÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EMPÍRICO – MECANICISTA ME –PDG 2002.....	42
3.1. DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO.....	42
3.1.1. Información general.....	42
3.1.2. Variable tránsito.....	42
3.1.3. Variable clima.....	43
3.1.4. Materiales de la estructura.....	45
3.2. ESTRUCTURAS OBTENIDAS PARA LA CIUDAD DE PASTO.....	47
3.3 ESTRUCTURAS OBTENIDAS PARA LA CIUDAD DE IPIALES.....	52
CONCLUSIONES.....	58

RECOMENDACIONES .....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	62
ANEXOS .....	64

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Valores de coeficientes estructurales (a/pulg). .....	22
Tabla 2. Valores de coeficientes de drenaje (mi). .....	23
Tabla 3. Rangos de tránsito considerados en la norma. ....	23
Tabla 4. Regiones climáticas según la temperatura y precipitación.....	24
Tabla 5. Categorías de la Subrasante .....	25
Tabla 6. Rangos contemplados en las cartas de diseño.....	25
Tabla 7. Modelo de falla de pavimentos flexibles.....	28
Tabla 8. Modelo de falla de pavimentos flexibles.....	29
Tabla 9. Relación CBR – Módulos resiliente.....	46

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Proceso de Diseño para Pavimentos Asfálticos .....	27
Figura 2. Deterioros predecibles en el Diseño para Pavimentos Asfálticos .....	28
Figura 3. Proceso de diseño para pavimentos asfálticos .....	29
Figura 4. Pantalla de inicio del Software .....	31
Figura 5. Pantalla de entrada de datos .....	31
Figura 6. Presentación por color de la información del Software .....	32
Figura 7. Entrada de diseño .....	32
Figura 8. Información general .....	33
Figura 9. Identificación del sitio .....	34
Figura 10. Parámetro de análisis. ....	35
Figura 11. Estructura del pavimento .....	39
Figura 12. Variación del módulo del concreto asfáltico con el tiempo .....	39
Figura 13. Variación del módulo de subrasante con el tiempo .....	40
Figura 14. Profundidad prevista del ahuellamiento en el tiempo .....	40
Figura 15. Pantalla de Resultados de Diseño de ME –PDG .....	41
Figura 16. Fisuras longitudinales en el tiempo .....	41

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el país emplea una significativa suma de dinero tanto en conservación como en construcción vial, esto lleva a la aplicación de los más aptos procedimientos de diseño disponibles para de este modo optimizar el uso de los recursos del país.

Un diseño de pavimento flexible depende de variables, tales como características geotécnicas de la subrasante, un método de diseño, el tránsito, la caracterización dinámica de los materiales empleados y la aproximación práctica e iterativa por parte del diseñador, estos son requisitos indispensables para la elaboración de un diseño. El diseñador debe seleccionar una estructura preliminar para su posterior análisis y de esta forma determinar si los criterios de desempeño establecidos por cada uno de los métodos van acordes con la estructura analizada. Los pavimentos se diseñan para que las cargas impuestas por el tránsito no generen deformaciones permanentes excesivas, las cuales se producen en cada una de las capas, interviniendo además de las cargas del tránsito las condiciones climáticas y ambientales representadas principalmente por la precipitación y temperatura a las cuales se encuentra sometida la estructura y la subrasante

En Colombia, el diseño de pavimentos está basado principalmente en métodos empíricos y en poca proporción en métodos mecanísticos pero estos no se relacionan en una metodología principal de diseño, así entonces cualquier cambio en el tránsito o el clima pueden generar pérdida de confiabilidad al método en el momento de predecir el dimensionamiento de un pavimento, este bajo grado de confianza hace que sea necesario implementar nuevos métodos de diseño en los cuales se consideren importantes en su proceso de diseño variables tales como el tráfico y efectos climáticos. Así entonces, para diseñar pavimentos mediante el software de la guía norteamericana se deben ingresar ciertos parámetros de entrada que agrupan variables y parámetros de diseño, siendo éstos los siguientes: tránsito, clima, estructuración del pavimento y propiedades de los materiales.

Estos datos de entrada se tomaran de los materiales empleados en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos con medios y altos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vías los cuales se describen a lo largo de este documento, estos serán ingresados al software para permitir la aplicabilidad de modelos de deterioro y la obtención de la progresión del desempeño en el tiempo.

Para pavimentos flexibles, los deterioros posibles de analizar son los siguientes: deformación permanente, grietas por fatiga (de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo), grietas térmicas y verificación de la regularidad superficial (IRI).

Desde los puntos de vista estructural y funcional un diseño confiable es aquel que se ajuste a los criterios planteados, es por eso que el procedimiento de diseño contempla una propuesta inicial y si el diseño inicial no satisface los criterios de desempeño éste se modificará y analizará las veces que sean necesarias hasta que satisfaga los criterios.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Ejecutar una comparación entre los resultados obtenidos en el diseño de estructuras de pavimentos asfálticos nuevos para la ciudad de Pasto e Ipiales, empleando la guía de diseño de pavimentos Empírico-Mecanística MEPDG 2002 (Mechanistic –Empirical Pavement Design Guide) AASHTO 2002 – Nivel 3 y el Manual de diseño de pavimentos asfálticos del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Efectuar el diseño de estructuras nuevas de pavimentos flexibles mediante la guía de diseño de pavimentos mecánico empírico MEPDG para el NIVEL 3.
- Precisar las variables de entrada empleadas en el diseño de pavimentos flexibles.
- Analizar resultados obtenidos con la guía de diseño de pavimentos Empírico-Mecanística MEPDG 2002 (Mechanistic –Empirical Pavement Design Guide) AASHTO 2002 – Nivel 3 de acuerdo con la información de las variables de entrada.
- Determinar si con las mismas variables de entrada como son clima, tránsito y condiciones de materiales, las estructuras obtenidas por el método del INVIAS y guía de diseño de pavimentos mecánico empírico MEPDG para el NIVEL 3, presentan variabilidad de espesores y de desempeño a lo largo del periodo de diseño.
- Precisar las diferencias obtenidas en cuanto a los resultados del método empírico del INVIAS y la MEPDG para el NIVEL 3.

## JUSTIFICACIÓN

Un país debe disponer de una infraestructura de transporte capaz de llegar a todos los rincones de su territorio, haciendo de la red vial tanto nacional como departamental y regional un factor esencial para el crecimiento económico y social en Colombia, sin embargo, el sostenido crecimiento del parque automotor tanto en volumen como en cargas y el deterioro sufrido por las diferentes redes viales constituyen un problema crónico cuya solución no es fácil.

En Colombia, actualmente se tiene un gran déficit en cuanto a red vial esto hace que las inversiones para construcción, rehabilitación y/o reconstrucción de sus estructuras sean altas, por esta razón es necesario que los responsables de administrar estos recursos estén en constante exploración de nuevas metodologías que arrojen resultados más precisos en el momento de planificar la construcción y conservación de las carreteras y de esta forma garantizar que los recursos han sido empleados de la forma más óptima.

Actualmente se emplean métodos empíricos y racionales para el diseño y conservación de las estructuras de pavimentos flexibles; entre estos se destaca el método de diseño de pavimentos flexibles del Instituto Nacional de Vías el cual es un método empírico donde dada la aleatoriedad del fenómeno de deterioro de caminos y la distinta naturaleza de los procedimientos utilizados, son de esperarse diferencias entre las soluciones proporcionadas por cada uno de ellos. Las metodologías de diseño de pavimentos flexibles, a través de una adecuada predicción del comportamiento en servicio de las estructuras, buscan aumentar su vida útil y analizar con un importante grado de confiabilidad las múltiples alternativas de mantenimiento técnicamente viables y conseguir una importante reducción de los costos de mantenimiento asociados.

En este trabajo, con el empleo de la Guía MEPDG 2002 (Mechanistic –Empirical Pavement Design Guide) Nivel 3, se pretende obtener los diseños para pavimentos flexibles nuevos y así compararlos con las estructuras de pavimentos flexibles planteadas en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) dando inicio a la implementación de una metodología de diseño de estructura de pavimento que predice en forma más acertada su comportamiento.

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1. METODOS DE DISEÑO

En las estructuras flexibles la deformación permanente es la suma de las deformaciones en cada una de las capas de pavimentos, pero se tiene una gran limitación ya que solo tiene en cuenta la deformación de la capa de la sub rasante. Estudios han demostrado que mayor parte de la deformación se presenta en la capa asfáltica y en la base granular. Así entonces, los métodos de diseño utilizados para dimensionar estructuras de pavimento flexibles se pueden dividir en tres grupos, a saber; en métodos empíricos, métodos mecanicistas y método mecánico empírico.

**1.1.1. Métodos empíricos.** Los métodos de diseño empíricos se basan en los resultados de experimentos, requieren un elevado número de observaciones para establecer relaciones aceptables entre las variables y los resultados de las pruebas correlacionan el comportamiento de los pavimentos in situ, a través de observaciones y mediciones de campo, con los factores que causan los mecanismos de degradación en las estructuras. Los factores más importantes son las cargas impuestas por el tránsito, las condiciones ambientales a las cuales se encuentra sometida la estructura, el tipo de suelo o terreno de subrasante, la calidad de los materiales empleados y deficiencias durante el proceso constructivo.

La American Association of State Highway and Transportation Officials la cual se la conoce como AASHTO, promovió las primeras pruebas en el estudio del comportamiento de estructuras de pavimento la cual dio inicio al ensayo vial AASHO donde los principales objetivos, son:

- Recolectar datos necesarios de las secciones.
- Realizar un informe de comportamiento del pavimento ante todos los eventos propuestos.
- Hallar la relación entre número de repeticiones de cargas por eje de diferente magnitud, configuración y el espesor necesario del pavimento.
- Desarrollar instrumentos, ensayos, datos, tablas, gráficos y fórmulas las cuales serán valiosas para el diseño de futuras vías.

El exceso de deformación permanente y la fatiga son los mecanismos principales de degradación que se intentan controlar tanto con metodologías empíricas como de metodologías mecanicistas. La fatiga ocurre en las capas ligadas, y para el caso de estructuras flexibles, se presenta cuando se generan valores altos de deformación a tracción en la zona inferior de la capa asfáltica.

**1.1.2. Métodos mecanicistas.** Este método también llamado racional utiliza los fundamentos de la teoría elástica para determinar la respuesta de los elementos estructurales que compone el pavimento, tales como esfuerzos, deformaciones y deflexiones. Para el diseño de pavimento mediante este método se debe emplear criterios de fatiga aplicados a todas las capas ligadas y de deformación permanente aplicado a todas las capas de pavimento. A pesar de ser una gran metodología diferente a las empíricas, también supone que las demás capas no sufrirán deformaciones plásticas y que el pavimento falla por acumulación de deformación a tracción en la zona inferior de la capa asfáltica debido a ciclos de carga y por exceso de deformación vertical en la superficie de la capa de subrasante, es decir, no tienen en cuenta el efecto que puede tener la acumulación de la deformación en las capas de base y sub-base granulares no tratadas. La principal desventaja de esta metodología radica en que el cálculo de los estados de esfuerzo y deformación se realiza, por lo general, suponiendo que el pavimento flexible es un sistema multicapa elástico lineal, compuesto por tres capas: la subrasante, la capa granular no tratada y la capa asfáltica. Este comportamiento elástico se supone de manera simplista justificando que bajo algún ciclo individual de carga la deformación permanente es muy baja comparada con la deformación resiliente.

La ventaja de los métodos mecanísticos es que suministran una base firme para la modelación racional de los sistemas de pavimentos ya que provee versatilidad al evaluar materiales bajo diferentes condiciones estructurales y ambientales. Esto conlleva a mejores correlaciones entre el comportamiento real de la estructura y los parámetros de diseño a medida que los modelos vayan mejorando.

**1.1.3. Método mecánico empírico.** Este método incorpora factores mecanicistas con los cuales permite determinar la respuesta del pavimento ante situaciones críticas de cargas y clima, utilizando modelos matemáticos y utiliza métodos empíricos para relacionar respuestas del pavimento con indicadores observados del comportamiento, de esta forma se encuentra la mejor conjugación entre conceptos mecanísticos y empíricos

Este método presenta una serie de ventajas derivadas del buen acoplamiento de los dos métodos; este método basa su funcionalidad en deterioros y el estado de

las carreteras, tiene capacidad para extrapolar información de campo con la información de laboratorio, el diseño ya no se hace solo para espesor de la estructura sino que se toman en cuenta consideraciones estructurales y de los materiales, tiene mayor capacidad para manejar las variables de tránsito, variables climáticas.

## **1.2. PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Para hablar de pavimentos flexibles es necesario conocer primero la definición general de pavimentos el cual es considerado como una estructura de una o varias capas que para permitir el rodamiento de vehículos con rapidez, seguridad, economía y comodidad se diseña con materiales de diferentes calidades y espesores sobre la subrasante de una vía. Se puede considerar adecuada una estructura de pavimento cuando después de haber resistido el tránsito de diseño llega a la falla funcional hasta llegar a una calificación de rechazo, con el menor costo posible.

**Pavimentos Flexibles:** Están conformados por una carpeta asfáltica constituida por productos bituminosos y apoyada sobre capas de materiales granulares llamadas base y sub-base. Su particularidad radica en que al aplicar una carga se deforman de manera considerable en un área relativamente pequeña, las capas de esta estructura tienen una resistencia a la deformación decreciente con la profundidad.

A continuación, se expresan algunas metodologías existentes y empleadas para el diseño de pavimentos flexibles

**1.2.1. Método AASHTO 1993.** El método AASHTO especifica los factores de equivalencia de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño cálculo realizado teniendo en cuenta la existencia de series estadísticas o históricas del comportamiento de tránsito o por medio de aforos vehiculares. Para el diseño se determina el número estructural necesario para soportar un determinado tránsito  $N$  esperado durante el período de diseño.

El método considera los siguientes parámetros de cálculo:

- Nivel de confianza con que se desea calcular el pavimento
- Módulos dinámicos de las diferentes capas de la estructura del pavimento
- Transito expresado en número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño
- Nivel de serviciabilidad
- Numero estructural del pavimento
- Módulo resiliente de la subrasante
- Calidad del drenaje
- Error normal combinado

**1.2.2 Método del instituto nacional de vías.** Los procedimientos para el diseño estructural de pavimentos asfálticos presentados por el INVIAS son aplicables a carreteras y autopistas interurbanas de dos o más carriles y abarca todas las gamas probables de tránsito. Los diseños están basados en una combinación de métodos existentes, en la experiencia, la teoría de comportamiento estructural y los materiales disponibles.

El fin del diseño estructural es proveer protección a la subrasante mediante la interposición de capas y de esta forma obtener un nivel de servicio minimizando los costos totales. Este método contempla los siguientes actores:

- Materiales de pavimento
- Tiempo
- Tránsito
- Suelos de subrasante
- Condiciones climáticas
- Consideraciones económicas

Según la información sobre distintos tramos de estudio de pavimentos existentes de la red vial nacional se hizo la validación, evaluando en las diferentes etapas de la Investigación Nacional de Pavimentos discriminados así; en la primera etapa se recopilaron datos de 17 tramos de la red nacional, en la segunda y tercera etapa se analizaron 43 tramos. Esto permitió analizar el comportamiento en servicio. Una vez obtenidos estos datos se asignaron campos de interés al diseño estructural, incluyendo: número de ejes equivalentes soportados por la estructura, valor soporte de la subrasante, espesores y tipos de materiales utilizados, edad del pavimento y estado en que se encontraba en el momento del análisis:

Teniendo en cuenta la historia del pavimento, las condiciones ambientales y las mediciones deflectométricas, se estimó la resistencia de la subrasante en su estado de equilibrio.

Se estableció el grado de deterioro teniendo presente que:

- Si hubiese habido intervenciones, se asumió que fueron realizadas cuando se alcanzó un índice de serviciabilidad de dos (2).
- Si hubiese habido reconstrucción, se asumió que fue realizada cuando se alcanzó un índice de serviciabilidad de uno (1).

Cuando el pavimento no alcanzó ninguno de los umbrales anteriores se procedió a estimar el índice de serviciabilidad aplicando el criterio del método AASHTO. Con ello se estableció la caída del índice y, consecuentemente, se estimó el número de repeticiones según ese método de diseño. Al menos dos estimaciones de número de ejes equivalentes se calcularon por cada sección de calibración. En la elaboración de este manual se utilizó los métodos AASHTO versión 1993 y racional (mecánico-empírico), basados en las curvas de fatiga desarrolladas por Finn, que involucran el nivel de fisuramiento en servicio.

La evaluación se realizó estadísticamente, asumiendo las variables de entrada de diseño como variables aleatorias independientes, y la diferencia entre el número de ejes equivalentes soportados por la estructura y el calculado por los métodos de diseño, como variable aleatoria dependiente. El establecimiento del o de los métodos que más se ajustaron a las condiciones particulares del país se realizó con base en la minimización del error en el número de ejes equivalentes, es decir, buscado que tienda a cero con una varianza mínima.

El método de diseño seleccionado para la verificación de las alternativas propuestas en las cartas, fue el AASHTO 1993. Una vez establecido el método de diseño más confiable, se procedió a verificar las secciones estructurales seleccionadas para validación. Posteriormente, se propusieron estructuras para aquellas combinaciones de resistencia de subrasante y tránsito que no contaban con diseños probados.

La ecuación básica de diseño empleada para dimensionar las estructuras fue la recomendada por el método AASHTO.

El valor del error normal ( $S_o$ ) se consideró igual a 0.44, correspondiente a la condición de diseño cuando solo se considera la variación en la predicción del comportamiento del pavimento, sin errores en la estimación del tránsito con un nivel de confianza determinado.

El valor de desviación estándar normal,  $Z_r$ , es el correspondiente a un nivel de confiabilidad de 90%.

La pérdida de serviciabilidad se consideró un valor de  $\Delta PSI = 2.2$ , correspondiente a una serviciabilidad inicial de 4.2 y un índice de serviciabilidad final de 2.0.

Para la determinación de espesores se establecieron los siguientes valores de coeficientes estructurales ( $a_i$ ) para los diferentes materiales, teniendo en cuenta las características mecánicas de dichos materiales, obtenidas en diferentes investigaciones realizadas en el país, y las recomendaciones establecidas para estos parámetros por el método AASHTO.

**Tabla 1. Valores de coeficientes estructurales (a/pulg).**

<b>MEZCLA Densa EN CALIENTE</b>	MDC	$a_i = 0.44$	TMAP < 13 °C
	MDC	$a_i = 0.37$	13 °C ≤ TMAP < 20 °C
	MDC	$a_i = 0.30$	20 °C ≤ TMAP ≤ 30 °C
<b>MEZCLA Densa EN FRIO</b>	MDF	$a_i = 0.8 \times 0.44$	TMAP < 13 °C
	MDF	$a_i = 0.8 \times 0.37$	13 °C ≤ TMAP < 20 °C
	MDF	$a_i = 0.8 \times 0.30$	20 °C ≤ TMAP ≤ 30 °C
<b>BASE ESTABILIZADA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA</b>	BEE - 1	$a_i = 0.20$	Agregado grueso
	BEE - 2	$a_i = 0.20$	Agregado medio
	BEE - 3	$a_i = 0.14$	Suelo
<b>BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO</b>	BEC - 1	$a_i = 0.16$	A-1-a; A-1-b
	BEC - 2	$a_i = 0.14$	A-3; A-2-4; A-2-5
	BEC - 3	$a_i = 0.13$	A-2-6; A-2-7; A-4 A-5; A-6; A-7
<b>BASE GRANULAR</b>	BG-1, BG-2	$a_i = 0.14$	
<b>SUBBASE GRANULAR</b>	SBG-1, SBG-2	$a_i = 0.12$	

Fuente: INVIAS. Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, 1998. p.71

Los valores de los coeficientes de drenaje ( $m_i$ ) utilizados para las capas granulares se determinaron de acuerdo con los niveles de precipitación y la calidad de drenaje y considerando que el pavimento estará a niveles de humedad próximos a la saturación por lapsos cercanos al 15% del tiempo de exposición.

**Tabla 2. Valores de coeficientes de drenaje ( $m_i$ ).**

<b>PRECIPITACIÓN (mm/año)</b>	<b>COEFICIENTE DE DRENAJE (<math>m_i</math>)</b>
< 2000	1.00
2000 – 4000	0.90
> 4000	0.80

Fuente: INVIAS. Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, 1998. p.71

- **Rangos de tránsito considerados.**

Analizando la información del tránsito de la red vial nacional colombiana y las tendencias de crecimiento y desarrollo del país, se establecieron los siguientes rangos para fines del presente Manual, expresados en número de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas que circularán en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

**Tabla 3. Rangos de tránsito considerados en la norma.**

<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>RANGOS DE TRÁNSITO ACUMULADO POR CARRIL DE DISEÑO</b>
T1	$0.5 - 1 \times 10^6$
T2	$1 - 2 \times 10^6$
T3	$2 - 4 \times 10^6$
T4	$4 - 6 \times 10^6$
T5	$6 - 10 \times 10^6$
T6	$10 - 15 \times 10^6$
T7	$15 - 20 \times 10^6$
T8	$20 - 30 \times 10^6$
T9	$30 - 40 \times 10^6$

Fuente: INVIAS. Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, 1998. p.17.

Es importante anotar que los tránsitos menores a  $0.5 \times 10^6$  ejes equivalentes están contemplados en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías de bajos volúmenes de tránsito, del Instituto Nacional de Vías (2007).

- **Regiones climáticas.**

Con base en las temperaturas y precipitaciones, el país se ha dividido en seis regiones climáticas, con el fin que la variable clima se involucre en forma apropiada en el diseño de estructuras de pavimento.

**Tabla 4. Regiones climáticas según la temperatura y precipitación**

<b>Nº</b>	<b>REGIÓN</b>	<b>TEMPERATURA TMAP (°C)</b>	<b>PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)</b>
R1	Fría seca y fría semihúmeda	< 13	< 2000
R2	Templado seco y templado semihúmedo	13 – 20	< 2000
R3	Cálido seco y Cálido semihúmedo	20 – 30	< 2000
R4	Templado húmedo	13 – 20	2000 – 4000
R5	Cálido húmedo	20 – 30	2000 -4000
R6	Cálido muy húmedo	20 – 30	> 4000

Fuente: INVIAS. Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, 1998. p.33.

- **Categorías de subrasante.**

El módulo resiliente de la subrasante se clasifica de acuerdo con las categorías indicadas en el siguiente cuadro

**Tabla 5. Categorías de la Subrasante**

<b>MÓDULO (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>RESILIENTE</b>	<b>CATEGORÍA</b>
300 ≤ Mr < 500		S1
500 ≤ Mr < 700		S2
700 ≤ Mr < 1000		S3
1000 ≤ Mr < 1500		S4
Mr > 1500		S5

Fuente: INVIAS. Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, 1998. p.52.

- **Cartas de diseño.**

Con base en las condiciones climáticas (R), niveles de tránsito (T), condiciones de resiliencia de los suelos de subrasante (S) y características de los materiales definidos para cada una de las capas, se diseñaron las secciones estructurales para las diferentes combinaciones de las variables, indicándose para las alternativas de diseño los materiales y espesores correspondientes que garanticen una equivalencia estructural. La selección de la estructura obedecerá a condiciones particularidades de disponibilidad de materiales en la zona, se establecieron seis cartas de diseño, las cuales consideran los siguientes rangos (tabla 6):

**Tabla 6. Rangos contemplados en las cartas de diseño.**

<b>CARTA Nº</b>	<b>REGIÓN CLIMÁTICA (R)</b>	<b>RESISTENCIA SUBRASANTE (S)</b>	<b>RANGO DE TRÁNSITO (T)</b>
1	R1	de S1 a S5	de T1 a T9
2	R2	de S1 a S5	de T1 a T9
3	R3	de S1 a S5	de T1 a T9
4	R4	de S1 a S5	de T1 a T9
5	R5	de S1 a S5	de T1 a T9
6	R6	de S1 a S5	de T1 a T9

Fuente: INVIAS. Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, 1998. p.72.

## **2. GUIA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EMPÍRICO – MECANICISTA MEPDG 2002**

### **2.1. GENERALIDADES**

La Guía de Diseño Mecanicista – Empírico AASHTO 2002 (MEPDG), presenta un cambio en el diseño de estructuras de pavimentos flexibles y rígidos, en esta metodología se considera las características y materiales propios del lugar de estudio.

La guía utiliza los mismos parámetros de diseño empleados en los métodos mecánicos, empíricos y mecánico empíricos, entre estos parámetros se pueden mencionar el tránsito, los materiales de las capas estructurales y las condiciones ambientales, se requiere de una aproximación práctica e iterativa de parte del diseñador, con el software desarrollado se elabora la predicción de la evolución de determinados indicadores de deterioro a lo largo del periodo de diseño, se selecciona un diseño preliminar para luego analizarlo en detalle para determinar si éste se ajusta a los criterios de desempeño establecidos.

Con el MEPDG se mejora la confiabilidad del diseño, se predice modelos específicos de falla de manera que se puedan controlar en el periodo de diseño, extrapolar datos de campo y de laboratorio, mejorar la utilización de los materiales disponibles, minimizar las fallas prematuras, además, permite la caracterización de los materiales en términos de espesores, módulos y relación de Poisson, la caracterización específica del clima y de las cargas mediante ejes simples, tándem y tridem. Incluye la predicción del deterioro basado en modelos mecánicos calibrados con datos de terreno y la variabilidad considerados.

El Enfoque de diseño del MEPDG está conformado por tres fases.

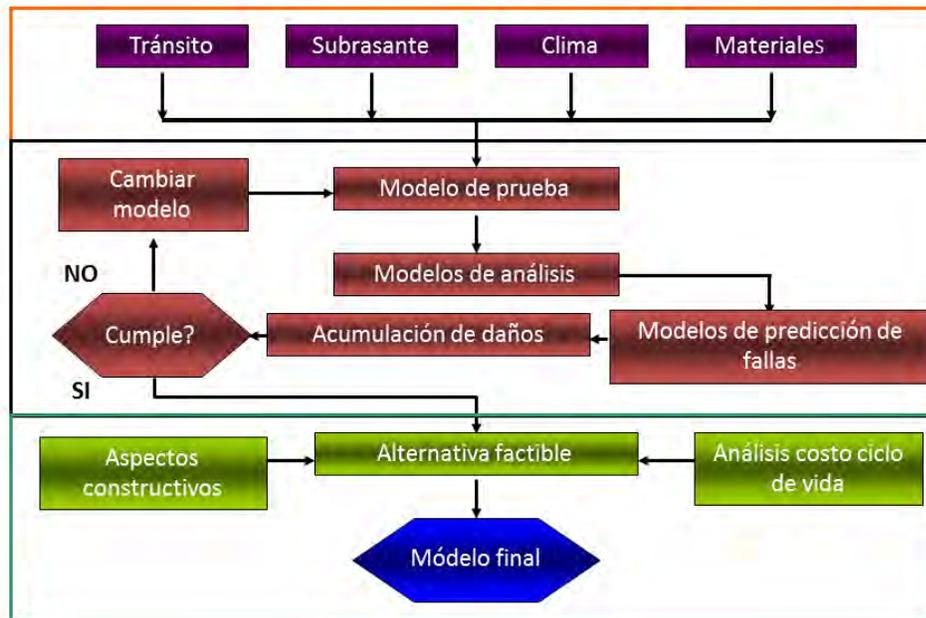
Fase 1. Evaluación del problema e ingreso de datos.

Fase 2. Análisis estructural: se plantean y verifican alternativas de solución en las cuales se definen espesores, características de los materiales, estrategias de mantenimiento y a través del software se predice el comportamiento de las estructuras verificadas.

Fase 3. Viabilidad Técnico económica, incluye el MEPDG un análisis de costo – beneficio durante el ciclo de vida útil.

En la siguiente figura se presenta el procedimiento general utilizado por la guía de diseño MEPDG 2002 para el diseño de pavimentos flexibles.

**Figura 1. Proceso de Diseño para Pavimentos Asfálticos**



Fuente: Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, National Cooperative Highway Research Program 1-37A, Final Report, March 2004

La guía de diseño MEPDG 2002 verifica el cumplimiento de criterios de diseño los cuales se analizan en las gráficas de salida obtenidas en los resultados que se obtienen de las corridas del programa.

Los deterioros predecibles por el Método de diseño MEPDG para pavimentos flexibles se presentan en la siguiente figura.

**Figura 2. Deterioros predecibles en el Diseño para Pavimentos Asfálticos**



Fuente: Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, National Cooperative Highway Research Program 1-37A, Final Report, March 2004

A continuación se presentan los modelos de fallas desarrollados y que están incorporados en el programa del MEPDG.

**Tabla 7. Modelo de falla de pavimentos flexibles**

Falla	Ecuación	Ajuste sobre:
Deformación Permanente	Nuevos y rehabilitados	$\beta_{r1}$ General
	$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_r} = k_1 * \beta_{r1} * 10^{-3.4488} * T^{1.5606 + \beta_{r2}} * N^{0.4794 + \beta_{r3}}$	$\beta_{r2}$ Temperatura
	$\delta_a(N) = \beta_{SB} * 2.03 * \left(\frac{e_0}{e_r}\right) e^{-\left(\frac{p}{N}\right)^\beta} e_v h$	$\beta_{r3}$ Repeticiones
	$\delta_a(N) = \beta_{SG} * 1.35 * \left(\frac{e_0}{e_r}\right) e^{-\left(\frac{p}{N}\right)^\beta} e_v h$	$\beta_{SB}$ General (base y subbase)
		$\beta_{SG}$ General (subrasante)
Fisuración	Nuevos y rehabilitados	$\beta_{f1}$ General
	$N_f = 0.00432 \beta_{f2} * C K_1 * \left(\frac{1}{e_r}\right)^{K_2 * \beta_{f2}} \left(\frac{1}{E}\right)^{K_3 * \beta_{f3}}$	$\beta_{f2}$ Deformación
	Refleja (rehabilitados)	$\beta_{f3}$ Módulo
	$RC = \frac{100}{1 + e^{c(a-d)bt}}$	c Espesor
	Asphalt Institute	d Tiempo
	$N_f = 0.00432 * C * \left(\frac{1}{e_r}\right)^{3.291} \left(\frac{1}{E}\right)^{0.854}$	$K_1$ 0.007566
Rugosidad	Nuevos y rehabilitados	$K_2$ 3.9492
	$IRI = IRI_0 + \sum C_i S_i$	$K_3$ 1.281
	En donde:	$C_1$ Ahuellamiento
	$C_i S_i$ : cambio de rugosidad	$C_2$ Fisuración por fatiga
		$C_3$ Fisuración térmica
		$C_4$ Factor de sitio

Fuente: Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, National

**Tabla 8. Modelo de falla de pavimentos flexibles**

Modelo	Ecuación	Donde:	
Superficie Afectada por Piel de Cocodrilo	$FC = \left( \frac{C_4}{1 + e^{(C_1 + C_2 + C_2 \log(\text{Daño } 100))}} \right) \left( \frac{1}{60} \right)$	FC	Área con piel de cocodrilo (%)
		C <sub>1</sub>	1
		C <sub>2</sub>	1
		C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> - 2
		C <sub>2</sub>	-2,40874-39,748(1+h <sub>ac</sub> )^-2.856
		C <sub>4</sub>	6000
		h <sub>ac</sub>	Espesor de capa asfáltica
		Daño	Daño por fatiga
Fisuración Térmica	$C_f = 400N \left( \frac{\log(C/h_{ac})}{\sigma} \right)$	C <sub>f</sub>	Cantidad de fisuración (ft/500ft)
		N()	Distribución standard evaluada
		σ	Desviación standar
		C	Profundidad fisura
IRI Pavimentos Flexibles Con Bases No Ligadas.	$IRI = IRI_0 + 0,0463 \left[ SF \left( e^{\frac{COV_{RD}}{20}} - 1 \right) \right] + 0,00119(TC_L)_T + 0,1834(COV_{RD}) + 0,00384(FC)_T + 0,00736(BC)_T + 0,00115(LC_{SNWP})_{MH}$	h <sub>ac</sub>	Espesor de capa asfáltica
		SF	Factor de sitio
		(TC <sub>L</sub> ) <sub>T</sub>	Longitud total fisuras transversales
		COV <sub>RD</sub>	Coef. de variación del ahuellamiento
		(FC) <sub>T</sub>	Fisuración por fatiga
		(BC) <sub>T</sub>	Área de fisuras en bloque
		(LC <sub>SNWP</sub> ) <sub>MH</sub>	Longitud fisuras longitudinales

Fuente: Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, National

## 2.2. NIVELES DE JERARQUIA

El MEPDG comprende un enfoque jerárquico para determinar los parámetros de diseño, se consideran tres niveles de jerarquía, en la siguiente figura No 3 se presentan los niveles de jerarquía del MEPDG

**Figura 3. Proceso de diseño para pavimentos asfálticos**



Fuente: Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, National

Los niveles que presenta el MEPDG están organizados en forma jerárquica pero independientes, el procedimiento de análisis y de los cálculos que efectúa el software son independientes del nivel de los datos de entrada, los niveles inferiores tienen mayor variabilidad, lo cual es considerado en el análisis de confiabilidad, los niveles considerados para las variables de entrada en la guía de diseño son:

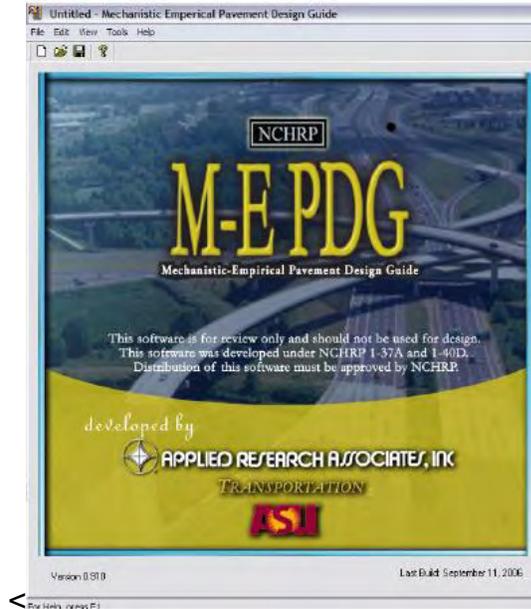
- **Nivel 1.** Es el de más alto nivel de precisión, se requiere de datos específicos del diseño obtenidos directamente de ensayos de laboratorio, se emplea en pavimentos de alto tránsito, los datos de entrada requieren más recursos y tiempo, se obtiene alta confiabilidad.
- **Nivel 2.** Su nivel de precisión es intermedio, es cercano al Aashto 1993, se emplea cuando los recursos y equipos de ensayos no están disponibles, la entrada de datos se hace utilizando correlaciones o tablas para generar la información requerida. En general valores obtenidos empíricamente a base de correlaciones, se obtiene mediana confiabilidad.
- **Nivel 3.** En este nivel se obtiene bajo nivel de precisión, se emplea para bajos volúmenes de tránsito, los valores de entrada se encuentran en el ámbito Nacional o regional, basados en la experiencia local y se obtiene baja confiabilidad.

## **2.3 PROGRAMA MEPDG**

El programa del MEPDG 2002 se encuentra disponible para cualquier persona con acceso a internet en la página de la Transportation Research Board of the National Academies (TRB), el software es de libre descarga pero su ejecución requiere la conexión a internet.

- **Pantalla de inicio del software**

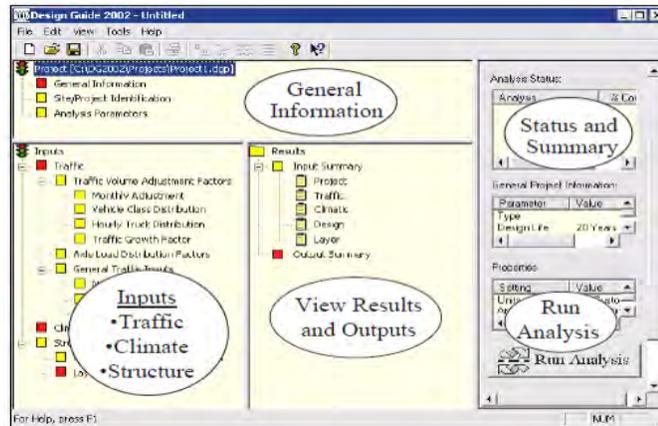
**Figura 4. Pantalla de inicio del Software**



**Fuente: Software Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures**

Aquí se explican los aspectos más relevantes acerca de los datos de entrada, el usuario debe ingresar en el programa la siguiente información: Información General del Proyecto, entrada de tránsito, clima y estructura. A continuación se presenta la pantalla de entrada.

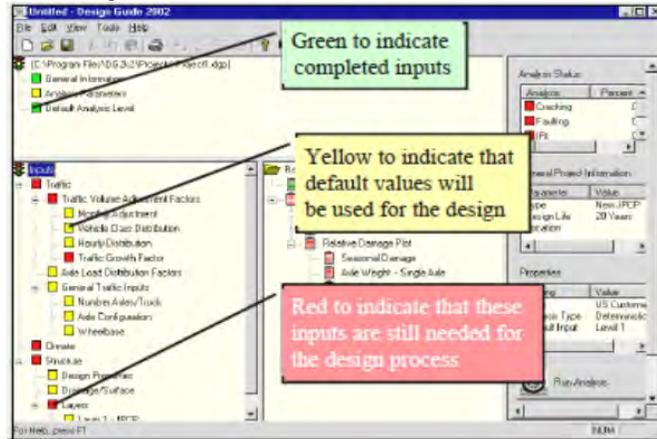
**Figura 5. Pantalla de entrada de datos**



**Fuente: Software Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures**

La información requerida por el software está clasificada por colores, en color rojo se presenta la información que no ha sido introducida, en color amarillo se presenta la información que se encuentra cargada por defecto y en color verde se presenta la información que se encuentra completa y ha sido diligenciada en forma correcta. A continuación se presenta una pantalla de la clasificación por color de la información.

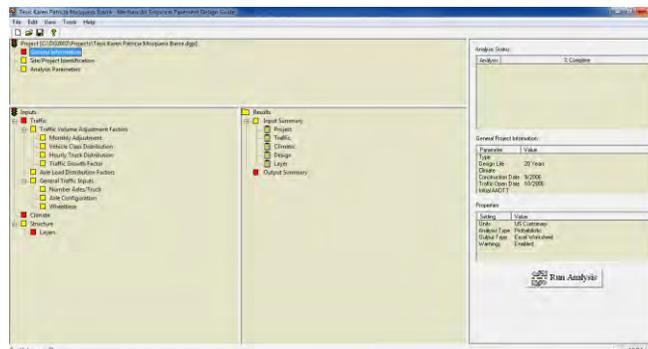
**Figura 6. Presentación por color de la información del Software**



**Fuente: Software Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures**

**Entradas de Diseño:** Se describe el ingreso de los datos de entrada, los que permiten iniciar el procedimiento de diseño para pavimentos flexibles mediante el software MEPDG.

**Figura 7. Entrada de diseño**



**Fuente: Software Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structure**

✓ **Información General:** En esta sección se definen los siguientes datos de entrada para el programa, como se observa en la pantalla del software:

- Tipo de pavimento
- Período y tipo de análisis
- Mes de construcción de la base y de la subrasante
- Mes de construcción del pavimento
- Mes de apertura al tránsito.

**Figura 8. Información general**

The screenshot shows a 'General Information' dialog box with the following fields and options:

- Project Name: Tesis Karen Patricia Mosquera Ibarra
- Description: (empty text area)
- Design Life (years): 10
- Base/Subgrade Construction Month: November, Year: 2013
- Pavement Construction Month: December, Year: 2013
- Traffic open month: March, Year: 2014
- Type of Design:
  - New Pavement:
    - Flexible Pavement
    - Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP)
    - Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)
  - Restoration:
    - Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP)
  - Overlay:
    - Asphalt Concrete Overlay
    - PCC Overlay

Buttons: OK (with green checkmark), Cancel (with red X).

**Fuente: Software Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures**

✓ **Identificación del sitio:** Esta entrada es importante ya que la localización del sitio del proyecto permite definir las condiciones de tráfico según la importancia de la vía y condiciones climáticas para el diseño de la estructura de pavimento incluye:

- La localización del proyecto
- Identificación de las secciones de la vía
- Clase funcional del pavimento a diseñar, el cual tiene los siguientes opciones.
  - Arteria principal, interestatal
  - Arteria Menor
  - Rutas locales y calles

**Figura 9. Identificación del sitio**

The screenshot shows a dialog box titled "Site/Project Identification". It contains the following fields and values:

- Location: San Juan de Pasto
- Project ID: 001
- Section ID: 1
- Date: 01/11/2013
- Station/milepost format: Latitude/Longitude
- Station/milepost begin: (empty)
- Station/milepost end: (empty)
- Traffic direction: East bound

At the bottom of the dialog are two buttons: "OK" (with a green checkmark icon) and "Cancel" (with a red X icon).

**Fuente: Software Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures**

✓ **Parámetros de Análisis:** Se debe definir por parte del diseñador el tipo de análisis que va a realizar, aclarando si es pavimento rígido o flexible y se debe seleccionar los tipo de daños que se quieren considerar para luego evaluar el funcionamiento de la estructura propuesta.

Dependiendo del tipo de pavimento se especifica los criterios de funcionamiento para los cuales se establece umbrales los cuales darán una visión de lo que se espera del análisis.

El software ofrece diversos criterios de análisis dependiendo del tipo de análisis y el diseñador podrá incorporar los criterios que el considere pertinentes a su diseño.

Se debe definir el valor de IRI Inicial: se define como la regularidad del pavimento recién construido. Depende de las especificaciones de regularidad del proyecto y tiene un impacto significativo en la calidad del pavimento. Los rangos típicos van desde 0.8 a 1.6 metros por kilómetro (50 a 100 pulgadas por milla).

Los tipos de daños considerados por el MEPDG para pavimentos flexibles son los siguientes:

- Grietas por fatiga de la superficie hacia abajo
- Grietas por fatiga del fondo hacia arriba
- Agrietamiento por temperatura
- Fractura por fatiga de capas estabilizadas químicamente
- Deformación permanente Total
- Rugosidad (IRI)

**Figura 10. Parámetro de análisis.**

	Limit	Reliability
<input type="checkbox"/> Terminal IRI (in/mile)		
<input type="checkbox"/> AC Surface Down Cracking Long. Cracking (ft/mi)		
<input type="checkbox"/> AC Bottom Up Cracking Alligator Cracking (%)		
<input type="checkbox"/> AC Thermal Fracture (ft/mi)		
<input type="checkbox"/> Chemically Stabilized Layer Fatigue Fracture(%)		
<input type="checkbox"/> Permanent Deformation - Total Pavement (in)		
<input type="checkbox"/> Permanent Deformation - AC Only (in)		

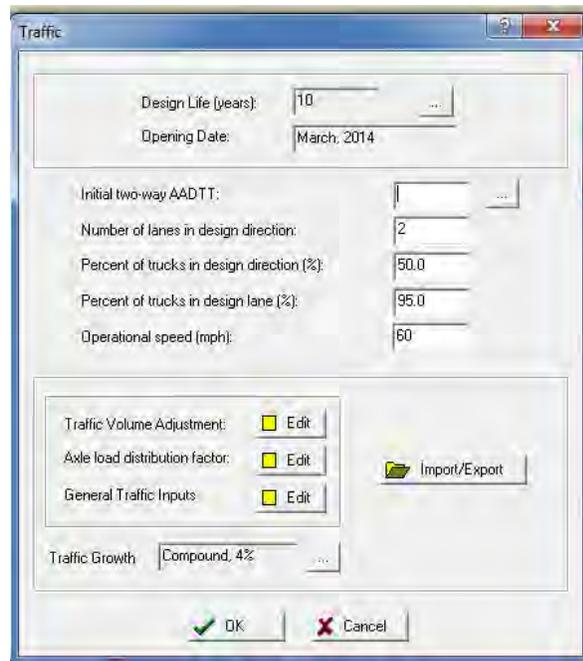
**Fuente: Software Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures**

## ✓ Tránsito

Permite al diseñador introducir los datos de volúmenes de tránsito, además solicita datos como ajuste de volúmenes, factores de distribución de cargas e información general.

Datos de entrada en tráfico:

- Tráfico Promedio diario
- Número de carriles en la dirección de diseño
- Porcentaje de vehículos en la dirección de diseño
- Porcentaje de vehículos en el carril de diseño
- Velocidad operacional del vehículo
- Parámetro de análisis.



The screenshot shows a 'Traffic' dialog box with the following fields and values:

Field	Value
Design Life (years)	10
Opening Date	March, 2014
Initial two-way AADTT	
Number of lanes in design direction	2
Percent of trucks in design direction (%)	50.0
Percent of trucks in design lane (%)	95.0
Operational speed (mph)	60
Traffic Volume Adjustment	<input type="checkbox"/> Edit
Axle load distribution factor	<input type="checkbox"/> Edit
General Traffic Inputs	<input type="checkbox"/> Edit
Traffic Growth	Compound, 4%

Como se observa en la figura se encuentran varios enlaces, presentadas como ventanas que solicitan la siguiente información:

- Ajuste mensual del tráfico a través de los diferentes meses del año
- Distribución de la clase vehicular
- Distribución horaria del Tránsito Promedio Diario Anual
- Factores de crecimiento del tráfico

## ✓ **Clima**

La guía de diseño MEPDG considera de manera amplia los efectos del medio ambiente sobre el comportamiento de los pavimentos, los dos aspectos que más afectan una estructura de pavimento son la temperatura y la humedad ya que afectan de manera significativa el deterioro y la capacidad de carga de una estructura de pavimento.

El software MEPDG-2002 considera ampliamente la temperatura y la humedad mediante una herramienta de modelamiento climático llamada Mejoramiento del Modelo Climático Integrado (EICM), este es un programa dimensional integrado del flujo de calor y humedad que simula los posible cambios que pueda presentar los componentes de la estructura del pavimento a través de los años de operación

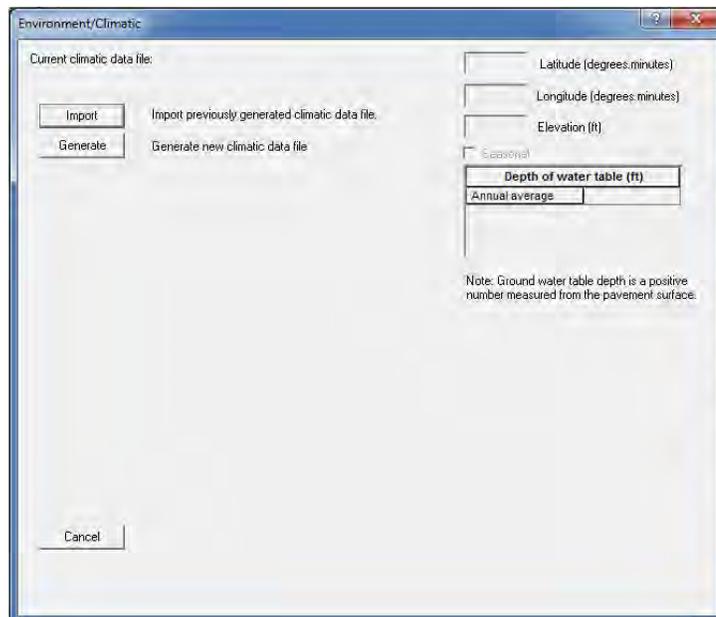
Los datos del clima requeridos por el EICM son.

- Temperatura horaria del aire
- Precipitación horaria
- Velocidad del viento horaria
- Porcentaje de los rayos del sol
- Humedad relativa horaria

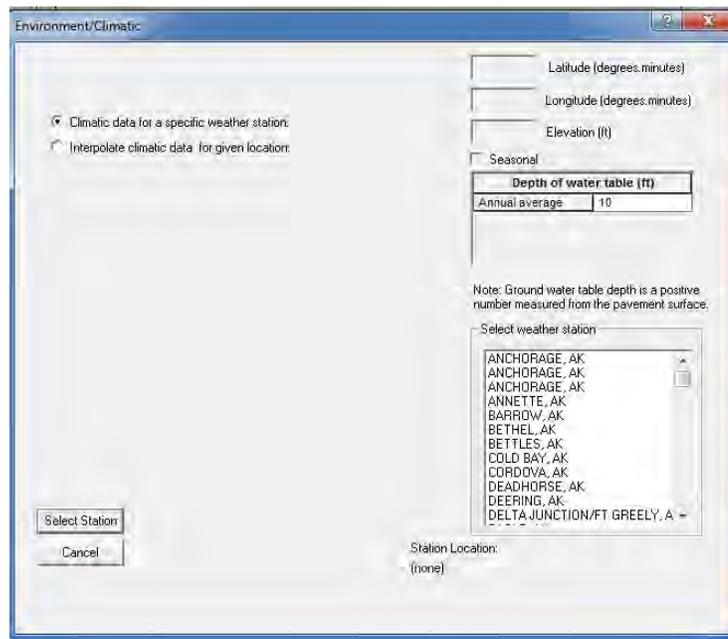
Es muy importante que los datos estacionales del tiempo suministrados para el modelamiento de la estructura sean de dos años para que el software proporcione soluciones lógicas

**Entrada de datos del clima en el MEPDG:** Se pueden ingresar al software los datos climáticos de dos maneras, la primera es generando internamente los datos y la segunda importando los datos, la opción a elegir dependerá de la información disponible del lugar donde se desarrollara el proyecto.

**Generación interna de datos:** La guía MEPDG-2002 fue elaborada en Estados Unidos y por lo tanto la base de datos interna que maneja el software pertenece a las regiones que conforman este país, para esto se introduce los datos de latitud, longitud, elevación y el programa automáticamente interpola las 6 estaciones más cercanas a esas coordenadas y genera un archivo de datos climáticos, también se pueden generar datos de estaciones específicas las cuales son generadas por el programa.



**Interpolación de datos:** Se emplean una estación existente y se utilizan los datos de las estaciones situadas en Estados Unidos



### ✓ Estructura del pavimento

El diseñador debe elegir los parámetros estructurales y plantear una combinación de capas que puedan ser evaluadas por el software, este proceso es iterativo.

**Figura 11. Estructura del pavimento**

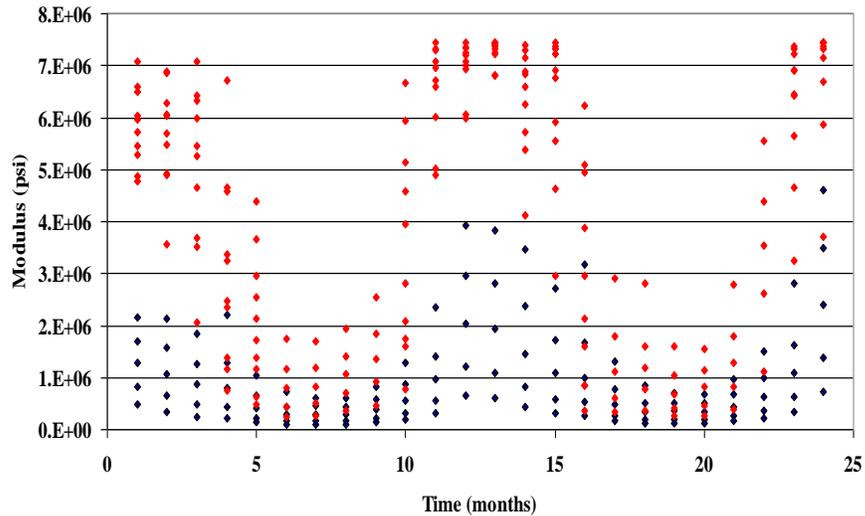


**Fuente: Software Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures**

## 2.4. REPORTES DEL SOFTWARE DE AASHTO 2002

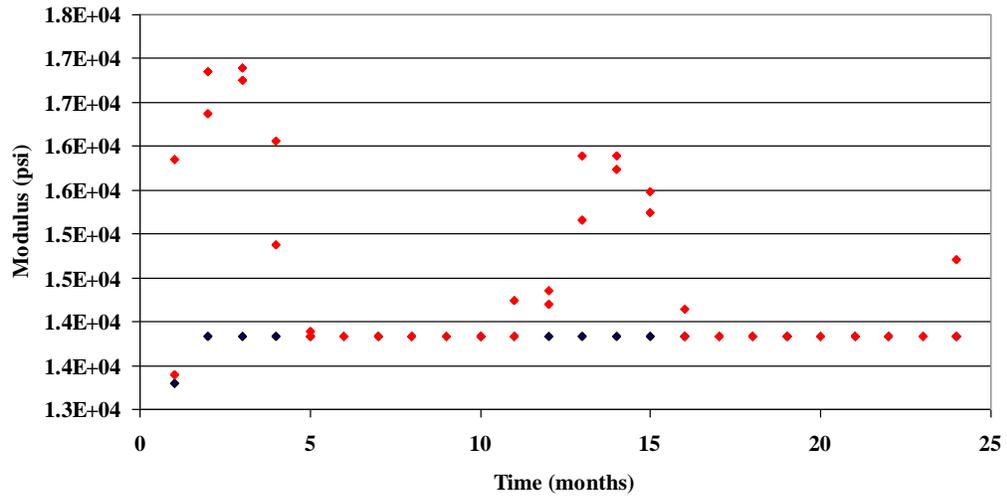
A continuación se presentan los reportes del software ME –PDG, en las cuales se observa las variaciones de los parámetros de entrada:

**Figura 12. Variación del módulo del concreto asfáltico con el tiempo**



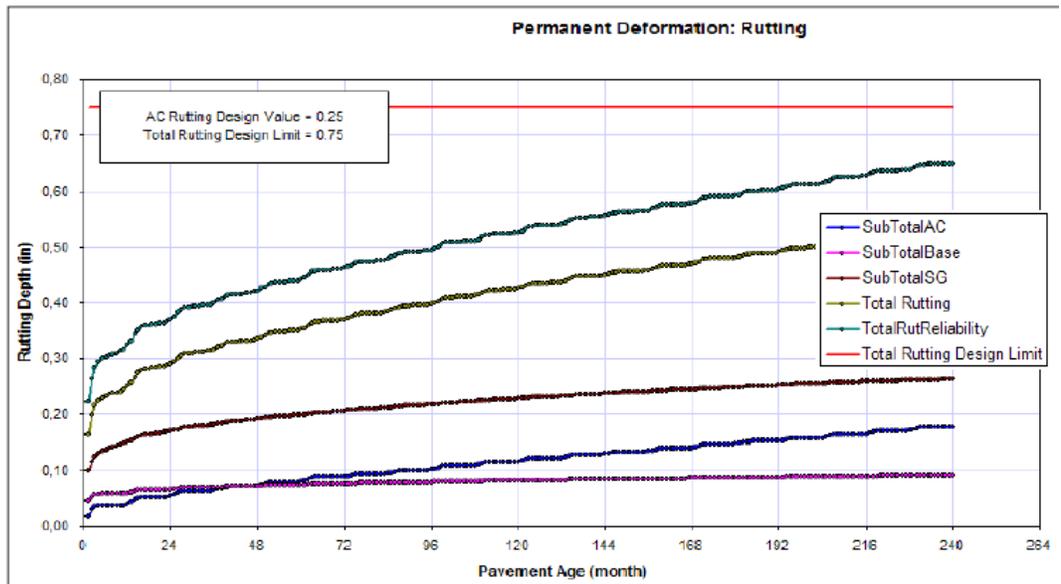
**Fuente: Software Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures**

**Figura 13. Variación del módulo de subrasante con el tiempo**



Fuente: Software Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures

**Figura 14. Profundidad prevista del ahuellamiento en el tiempo**



Fuente: Software Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures

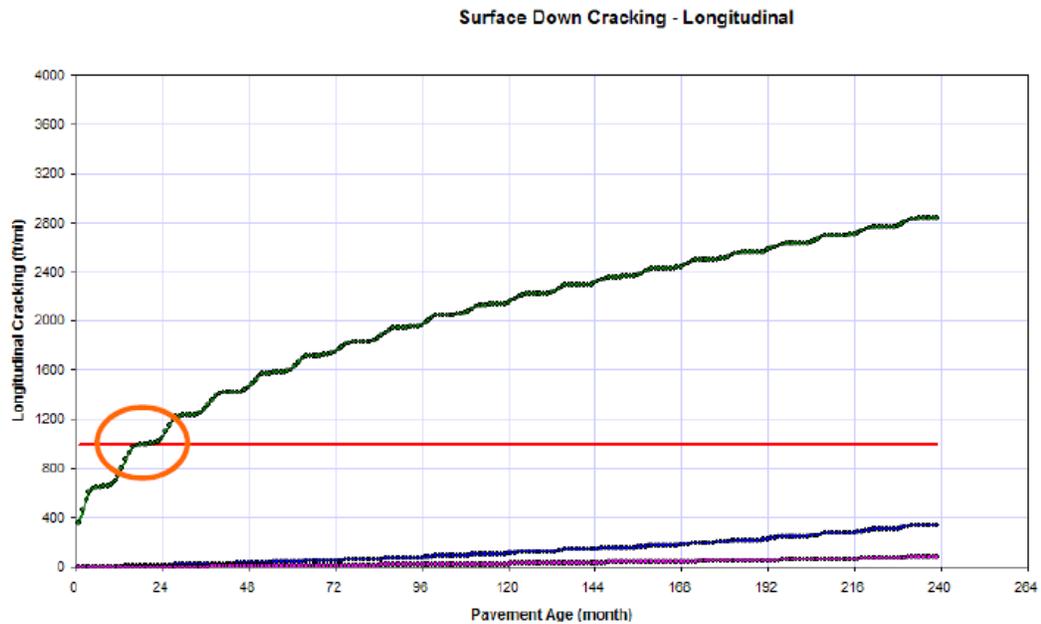
**Figura 15. Pantalla de Resultados de Diseño de ME –PDG**

Performance Criteria	Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	222	90	126.2	99.69	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	2000	90	0	99.999	Pass
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	90	0.4	99.999	Pass
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	90	1	94.16	Pass
Chemically Stabilized Layer (Fatigue Fracture)	25	90			N/A
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.25	90	0.01	99.999	Pass
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.5	90	0.42	85.58	Fail

Performance Criteria	Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	222	90	122.1	99.82	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	2000	90	0	99.999	Pass
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	90	0.1	99.999	Pass
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	90	1	94.16	Pass
Chemically Stabilized Layer (Fatigue Fracture)	25	90			N/A
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.25	90	0.01	99.999	Pass
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.5	90	0.32	99.6	Pass

Fuente: Software Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures

**Figura 16. Fisuras longitudinales en el tiempo**



Fuente: Software Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures

### 3. DISEÑO DE ESTRUCTURAS MEDIANTE LA GUÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EMPÍRICO – MECANICISTA ME –PDG 2002

#### 3.1. DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

A continuación, se definen las variables de entrada del software del método AASHTO 2002 las cuales están definidas para el nivel jerárquico tres:

##### 3.1.1. Información general.

a. **Periodos de diseño estructural:** pueden variar entre 10 y 20 años. Normalmente se uso un período de diseño de 10 años normalmente y como máximo 15 años, para el diseño se tiene un período de diseño de 10 años.

##### b. Parámetros de análisis:

Analysis Parameters	Limit	Reliability (%)
Initial IRI (in/mi)	127 ( 2.0 m/km)	90
Terminal IRI (in/mi)	254 ( 4.0 m/km)	90
AC Bottom Up cracking Alligator Cracking (%)	25	90
Permanent Deformation – Total Pavement (in)	0.75 ( 19 mm)	90
Permanent Deformation – AC Only (in)	0.25 ( 6 mm)	90

##### 3.1.2. Variable tránsito.

a. **Configuración de ejes:** se define como configuración especial de ejes (special axle configuration), con el fin de expresar el tránsito en ejes equivalentes de 8.2 toneladas.

b. **Tire load (lb) :** 9000

c. **Tire Pressure (psi):** 120

d. **Standard deviation wheel wander (in):** 10

e. **Monthly repetitions:** Para el nivel tres las estructuras de pavimento consideraran repeticiones mensuales de 3300, 5000, 6600, 8000 y 10000 CAMIONES (Buses y camiones).

**e. Annual growth (%):** estos valores se consideraran de acuerdo a la tabla de crecimiento obtenidas de un muestreo de la red vial nacional que ya fue mencionada en la variable tránsito de entrada.

Se adopta una tasa de crecimiento del 5 % y un período de diseño de 10 años, obteniéndose los siguientes resultados de tránsito proyectado en el periodo de diseño.

<b>Tránsito Mensual</b>	<b>Período de diseño</b>	<b>Tasa de crecimiento</b>	<b>Tránsito futuro en ejes equivalentes</b>
3.300	10 años	5 %	500.000
5.000	10 años	5 %	750.000
6.600	10 años	5 %	1.000.000
8.000	10 años	5 %	1.200.000
10.000	10 años	5 %	1.500.000

**3.1.3. Variable clima.** Se debe generar una estación climática de la base de datos MEPDG y se selecciono una ciudad que tenga una longitud y altitud similares a las del proyecto

<b>Ciudad:</b>	San Juan de Pasto	
<b>Latitud:</b>	1° 12' N	1.2
<b>Longitud:</b>	77° 16' 1"W	77.2667
<b>Altitud:</b>	2527 msnm	
<b>Precipitación Media Anual</b>	700 mm	
<b>Temperatura Media Anual Promedio</b>	14 °C 57.2 °F	

## Zonas climáticas del municipio de Pasto

ZONA CLIMÁTICA	ZONA DE VIDA	PRECIPITA mm	TEMP °C	ALTITUD msnm	LOCALIZACIÓN PPL.	AREA	
						Has	%
Extremadamente frío CEF	Páramo subandino p-SA	1.000	6 - 10	3400 a 4200	Zonas de páramo: Bordoncillo, Las Ovejas, Galeras.	11.464,2	10.3
Muy frío muy húmedo CMFMH	Bosque muy húmedo Montano bajo bmh-MB	2000 a 4000 1700 a 2500	12 a 17	2400 a 3000 2800 a 3000	Paramos azonales, Río El Estero y Guamúes	10.1212,3	9.2
	Bosque Muy Húmedo Montano bmh-M	1000 a 2000	6 a 12	3.000* 3600	Zona centro occidental a nororiental del municipio: Río Bobo a Morasurco	29.070,9	26.1
	Bosque Pluvial Montano bp-M	>2.000	6 a 10	3400 a 3600	Zona de Bosques en Cuenca Guamúes, Alisales, Patascoy, Bordoncillo	15.734,4	14.1
Clima Frío Muy Húmedo y Frío Húmedo CFMHYFH	Bosque Húmedo Montano. Bh-M	1000 a 2000	6 a 12	3000 a 3200	Cruz de Amarillo, falda Volcán Galeras	13.934,8	12.5
	Bosque Húmedo Montano Bajo bh-MB			2.200 a 2800	Microcuencas, Chorrillo y Curiaco	16.817,6	15.1
Clima Frío Seco CFS	Bosque Seco Montano Bajo bs-MB	500 a 1000	14	2000 a 2700	Valle de Atriz	12.501,4	11.2
	Bosque Húmedo PreMontano bh-PM	1220	17 - 24	1800 a 2200	La Caldera, Mapachico, Genoy	1.482,2	1.3

Fuente: Documento monografías de Pasto, alcaldía municipal, cámara de comercio

<b>Ciudad:</b>	Ipiales	
<b>Latitud:</b>	0° 49' 44" N	0.828752
<b>Longitud:</b>	77° 38' 33" W	77.6426
<b>Altitud:</b>	2998 msnm	
<b>Precipitación Media Anual</b>	891 mm	
<b>Temperatura Media Anual Promedio</b>	10°C 50.4 °F	

Estaciones de Estados Unidos con longitud y altura similar a la ciudad de San Juan Pasto e Ipiales:

<b>Estación U.S.A.</b>	Johnstown, Pa
<b>Longitud:</b>	78.50
<b>Altitud:</b>	2280 msnm

**3.1.4. Materiales de la estructura.** Se debe definir los materiales de las capas que se van a emplear, en este caso se utilizaran las siguientes capas.

- **Capa de rodadura** : concreto asfáltico con una mezcla densa MDC2 de acuerdo al artículo 450-07 INVIAS , utilizando un asfalto convencional 60-70 con un espesor variable

Con la siguiente Granulometría:

- ✓ Retenido en el tamiz 3/4 " 0 %
- ✓ Retenido en el tamiz 3/8 " 25 %
- ✓ Retenido en el tamiz N° 4 45 %
- ✓ Pasa tamiz N° 200 5 %

El diseño volumétrico se obtiene 12 % de bitumen y 6 % de vacíos de aire. La mezcla tiene un peso específico de 143 lb/ft<sup>3</sup>.

Se asume por defecto una conductividad térmica de 0.67 BTU-hr-ft-°F y calor específico de 0.23 BTU/lb. °F.

El coeficiente de Poisson es de 0.35.

- **Base y Subbase granular:** se asume el empleo de una base granular tipo BG2 art. 330 – 07 ( A1-a) y una subbase granular tipo SBG-1 art. 320-07 ( A2-4) del INVIAS

Tamiz	BG-2	SBG-1
2"		100
1 ½ "		70 – 95
1 "	100	60 – 90
½ "		45 – 75
¾ "	70 – 100	-
3/8 "	50 – 80	40 – 70
N° 4	35 – 65	25 – 55
N° 10	20 - 45	15 – 40
N° 40	10-30	6 – 25
N° 200	5 – 15	2 -15

El módulo de elasticidad inicial en condiciones de humedad y densidad óptima es de 40000 PSI para la BG-2 y de 20000 para la SBG-1

▪ **Subrasante:** con el fin de evaluar diferentes valores de subrasante se tomaran los rangos de Subrasante adoptados en el Manual de Medios y Altos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vías, es decir se obtendrán los módulos resilientes de la subrasante a partir de correlaciones o modelos matemáticos , lo que se convierte en el empleo del Nivel 2 de subrasante, se presenta a continuación la ecuación y los resultados obtenidos mediante esta correlación de CBR a Modulos resilientes

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

**Tabla 9. Relación CBR – Módulos resiliente**

VALOR CBR DE SUBRASANTE (%)	MODULO RESILIENTE (PSI)	MODULO RESILIENTE (kg/cm <sup>2</sup> )
3	5.161	360
4	6.204	430
5	7.157	500
6	8.042	560
7	8.876	620
8	9.669	680
9	10.425	730
10	11.153	780
11	11.854	830
12	12.533	870
13	13.192	920
13.5	13.500	950

**Combinaciones de las estructuras propuestas**

LUGAR	SUBRASANTE	MODULO RESILIENTE		TRÁNSITO Repeticiones Mensuales	TRÁNSITO ACUMULADO
	CBR (%)	(PSI)	CBR (%)		
Pasto	3 % - 13.5 %	5000–13500	3 –13.5	3000 - 10000	500.000 – 1.500.000
Ipiales	3 % - 13.5 %	5000–13500	3 –13.5	3000 - 10000	500.000 – 1.500.000

Estas estructuras equivalen a las propuestas en el Manual de Diseño de Pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito

LUGAR	REGIÓN CLIMÁTICA	RESISTENCIA SUBRASANTE		RANGO DE TRÁNSITO	Nº CARTA
		(PSI)	CBR (%)		
Ipiales	R1 TMAP °C <13 Precipitación < 2000	5161 13500	– 3 –13.5	T1 - T2	1
Pasto	R2 TMAP °C 13 - 20 Precipitación < 2000	5161 13500	– 3 –13.5	T1 - T2	2

### 3.2. ESTRUCTURAS OBTENIDAS PARA LA CIUDAD DE PASTO.

 <b>INSTITUTO NACIONAL DE VIAS</b>	Subrasante (CBR %)	T1 0.5 < N8.2 ≤ 1	Ta...0.5 x N8.2 3300 Rep.Mensuales	Tb...0.75 x N8.2 5000 Rep.Mensuales	Tc...1.0 x N8.2 6600 Rep.Mensuales	T2 1.0 < N8.2 ≤ 2	Td...1.2 x N8.2 8000 Rep.Mensuales	Te...1.50 x N8.2 10000 Rep.Mensuales
		<b>METODO INVIAS</b>	3 ≤ CBR < 5					

 <b>M-E PDG</b>	Subrasante (CBR %)	T1 0.5 < N8.2 ≤ 1	Ta...0.5 x N8.2 3300 Rep.Mensuales	Tb...0.75 x N8.2 5000 Rep.Mensuales	Tc...1.0 x N8.2 6600 Rep.Mensuales	T2 1.0 < N8.2 ≤ 2	Td...1.2 x N8.2 8000 Rep.Mensuales	Te...1.50 x N8.2 10000 Rep.Mensuales
		<b>METODO AASHTO ME- PDG</b>	CBR=3 (5161 PSI)	FALLA FALLA OK 	FALLA FALLA FALLA OK 	FALLA FALLA OK 	FALLA FALLA OK 	FALLA FALLA FALLA OK 

 <b>METODO AASHTO ME- PDG</b>	Subrasante (CBR %)	T1 0.5 < N <sub>8.2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x N <sub>8.2</sub> 3300	Tb...0.75 x N <sub>8.2</sub> 5000	Tc...1.0 x N <sub>8.2</sub> 6600	T2 1.0 < N <sub>8.2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x N <sub>8.2</sub> 8000	Te...1.50 x N <sub>8.2</sub> 10000
			Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales
	CBR=4 (6204 PSI)		FALLA FALLA OK	FALLA OK	FALLA FALLA OK		FALLA FALLA FALLA OK	FALLA FALLA OK
			MDC-2 10 10 12.5	10 12.5	10 12.5 12.5		10 12.5 12.5 15	10 12.5 15
			BG -1 20 25 20	20 20	20 20 25		20 20 25 20	20 25 20
			SBG -1 25 25 25	25 25	25 25 25		30 30 30 30	30 30 30

 <b>METODO INVIAS</b>	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8.2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x N <sub>8.2</sub> 3300	Tb...0.75 x N <sub>8.2</sub> 5000	Tc...1.0 x N <sub>8.2</sub> 6600	T2 1.0 < N <sub>8.2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x N <sub>8.2</sub> 8000	Te...1.50 x N <sub>8.2</sub> 10000
			Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales
	5 ≤ CBR < 7							
			MDC-2 10				MDC-2 10	
			BG -1 15				BG -1 20	
			SBG -1 20				SBG -1 20	

 <b>METODO AASHTO ME-PDG</b>	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8.2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x N <sub>8.2</sub> 3300	Tb...0.75 x N <sub>8.2</sub> 5000	Tc...1.0 x N <sub>8.2</sub> 6600	T2 1.0 < N <sub>8.2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x N <sub>8.2</sub> 8000	Te...1.50 x N <sub>8.2</sub> 10000
			Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales
	CBR = 5 (7157 PSI)		FALLA OK OK	FALLA OK OK	FALLA OK OK		FALLA OK OK	FALLA FALLA OK
			MDC-2 10 12.5 15	10 12.5 15	10 12.5 15		MDC-2 10 12.5 15	10 12.5 15
			BG -1 15 15 15	15 15 15	15 15 15		BG -1 20 20 20	20 20 20
			SBG -1 20 20 20	20 20 20	20 20 20		SBG -1 20 20 20	20 20 20

	<b>Subrasante (CBR%)</b> CBR =6 (8042 PSI)	<b>T1</b> 0.5 < $N_{8.2} \leq 1$	<b>Ta...0.5 x</b> $N_{8.2} 3300$ Rep.Mensuales	<b>Tb...0.75 x</b> $N_{8.2} 5000$ Rep.Mensuales	<b>Tc...1.0 x</b> $N_{8.2} 6600$ Rep.Mensuales	<b>T2</b> 1.0 < $N_{8.2} \leq 2$	<b>Td...1,2 x</b> $N_{8.2} 8000$ Rep.Mensuales	<b>Te...1.50 x</b> $N_{8.2} 10000$ Rep.Mensuales
			<b>METODO AASHTO ME-PDG</b>	<b>MDC-2</b> <b>BG -1</b> <b>SBG -1</b>	FALLA OK OK 	FALLA OK OK 	FALLA OK OK 	<b>MDC-2</b> <b>BG -1</b> <b>SBG -1</b>

	<b>Subrasante (CBR%)</b> $7 \leq \text{CBR} < 10$	<b>T1</b> 0.5 < $N_{8.2} \leq 1$	<b>Ta...0.5 x</b> $N_{8.2} 3300$ Rep.Mensuales	<b>Tb...0.75 x</b> $N_{8.2} 5000$ Rep.Mensuales	<b>Tc...1.0 x</b> $N_{8.2} 6600$ Rep.Mensuales	<b>T2</b> 1.0 < $N_{8.2} \leq 2$	<b>Td...1,2 x</b> $N_{8.2} 8000$ Rep.Mensuales	<b>Te...1.50 x</b> $N_{8.2} 10000$ Rep.Mensuales
			<b>METODO INVIAS</b>	<b>MDC-2</b> <b>BG -1</b> <b>SBG -1</b>				<b>MDC-2</b> <b>BG -1</b> <b>SBG -1</b>

	<b>Subrasante (CBR%)</b> CBR =7 (8876 PSI)	<b>T1</b> 0.5 < $N_{8.2} \leq 1$	<b>Ta...0.5 x</b> $N_{8.2} 3300$ Rep.Mensuales	<b>Tb...0.75 x</b> $N_{8.2} 5000$ Rep.Mensuales	<b>Tc...1.0 x</b> $N_{8.2} 6600$ Rep.Mensuales	<b>T2</b> 1.0 < $N_{8.2} \leq 2$	<b>Td...1,2 x</b> $N_{8.2} 8000$ Rep.Mensuales	<b>Te...1.50 x</b> $N_{8.2} 10000$ Rep.Mensuales
			<b>METODO AASHTO ME-PDG</b>	<b>MDC-2</b> <b>BG -1</b> <b>SBG -1</b>	FALLA OK 	FALLA FALLA OK 	FALLA FALLA OK 	<b>MDC-2</b> <b>BG -1</b> <b>SBG -1</b>

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x N <sub>8,2</sub> 3300 Rep.Mensuales	Tb...0.75 x N <sub>8,2</sub> 5000 Rep.Mensuales	Tc...1.0 x N <sub>8,2</sub> 6600 Rep.Mensuales	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x N <sub>8,2</sub> 8000 Rep.Mensuales	Te...1.50 x N <sub>8,2</sub> 10000 Rep.Mensuales
METODO AASHTO ME-PDG	CBR =8 (9669 PSI)		FALLA OK	FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		FALLA OK OK	FALLA, FALLA OK
		MDC-2	7.5 10	7.5 10 12.5	7.5 10 12.5	MDC-2	7.5 10 15	7.5 10 15
		BG -1	15 15	15 15 15	15 15 15	BG -1	20 20 20	20 20 20
		SBG -1	20 20	20 20 20	20 20 20	SBG -1	20 20 20	20 20 20

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x N <sub>8,2</sub> 3300 Rep.Mensuales	Tb...0.75 x N <sub>8,2</sub> 5000 Rep.Mensuales	Tc...1.0 x N <sub>8,2</sub> 6600 Rep.Mensuales	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x N <sub>8,2</sub> 8000 Rep.Mensuales	Te...1.50 x N <sub>8,2</sub> 10000 Rep.Mensuales
METODO AASHTO ME-PDG	CBR =9 (10425 PSI)		FALLA OK	FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK
		MDC-2	7.5 10	7.5 10 12.5	7.5 10 12.5	MDC-2	7.5 10 15	7.5 10 15
		BG -1	15 15	15 15 15	15 15 15	BG -1	20 20 20	20 20 20
		SBG -1	20 20	20 20 20	20 20 20	SBG -1	20 20 20	20 20 20

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x N <sub>8,2</sub> 3300 Rep.Mensuales	Tb...0.75 x N <sub>8,2</sub> 5000 Rep.Mensuales	Tc...1.0 x N <sub>8,2</sub> 6600 Rep.Mensuales	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x N <sub>8,2</sub> 8000 Rep.Mensuales	Te...1.50 x N <sub>8,2</sub> 10000 Rep.Mensuales
METODO INVIAS	10 ≤ CBR < 15							
		MDC-2	5			MDC-2	7.5	
		BG -1	15			BG -1	20	
		SBG -1	20			SBG -1	20	

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x	
			N <sub>8,2</sub> 3300	N <sub>8,2</sub> 5000	N <sub>8,2</sub> 6600		N <sub>8,2</sub> 8000	N <sub>8,2</sub> 10000	
		Rep.Mensuales			Rep.Mensuales			Rep.Mensuales	
METODO AASHTO ME-PDG	CBR =10 (11153 PSI)		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK	
		MDC-2	5 10 12.5	5 10 12.5	5 12.5 15	MDC-2	7.5 12.5 15	7.5 10 15	
		BG -1	15 15 15	15 15 15	15 15 15	BG -1	15 15 15	15 15 15	
		SBG -1	20 20 20	20 20 20	20 20 20	SBG -1	20 20 20	20 20 20	

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x	
			N <sub>8,2</sub> 3300	N <sub>8,2</sub> 5000	N <sub>8,2</sub> 6600		N <sub>8,2</sub> 8000	N <sub>8,2</sub> 10000	
		Rep.Mensuales			Rep.Mensuales			Rep.Mensuales	
METODO AASHTO ME-PDG	CBR =11 (11854 PSI)		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK	
		MDC-2	5 10 12.5	5 10 12.5	5 12.5 15	MDC-2	7.5 12.5 15	7.5 12.5 15	
		BG -1	15 15 15	15 15 15	15 15 15	BG -1	15 15 15	15 15 15	
		SBG -1	20 20 20	20 20 20	20 20 20	SBG -1	20 20 20	20 20 20	

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x	
			N <sub>8,2</sub> 3300	N <sub>8,2</sub> 5000	N <sub>8,2</sub> 6600		N <sub>8,2</sub> 8000	N <sub>8,2</sub> 10000	
		Rep.Mensuales			Rep.Mensuales			Rep.Mensuales	
METODO AASHTO ME-PDG	CBR =12 (12533 PSI)		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK	
		MDC-2	5 10 12.5	5 10 12.5	5 12.5 15	MDC-2	7.5 10 15	7.5 10 15	
		BG -1	15 15 15	15 15 15	15 15 15	BG -1	15 15 15	15 15 15	
		SBG -1	20 20 20	20 20 20	20 20 20	SBG -1	20 20 20	20 20 20	

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x	
			N <sub>8,2</sub> 3300	N <sub>8,2</sub> 5000	N <sub>8,2</sub> 6600	N <sub>8,2</sub> 8000	N <sub>8,2</sub> 10000		
		Rep.Mensuales			Rep.Mensuales			Rep.Mensuales	
<b>METODO AASHTO ME-PDG</b>	CBR =13 (13192 PSI)		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK	
		MDC-2	5 10 12.5	5 10 12.5	5 12.5 15	MDC-2	7.5 12.5 15	7.5 12.5 15	
		BG -1	15 15 15	15 15 15	15 15 15	BG -1	15 15 15	15 15 15	
		SBG -1	20 20 20	20 20 20	20 20 20	SBG -1	20 20 20	20 20 20	

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x	
			N <sub>8,2</sub> 3300	N <sub>8,2</sub> 5000	N <sub>8,2</sub> 6600	N <sub>8,2</sub> 8000	N <sub>8,2</sub> 10000		
		Rep.Mensuales			Rep.Mensuales			Rep.Mensuales	
<b>METODO AASHTO ME-PDG</b>	CBR =13.5 (13500 PSI)		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK	
		MDC-2	5 10 12.5	5 10 12.5	5 12.5 15	MDC-2	7.5 12.5 15	7.5 12.5 15	
		BG -1	15 15 15	15 15 15	15 15 15	BG -1	15 15 15	15 15 15	
		SBG -1	20 20 20	20 20 20	20 20 20	SBG -1	20 20 20	20 20 20	

### 3.3 ESTRUCTURAS OBTENIDAS PARA LA CIUDAD DE IPIALES.

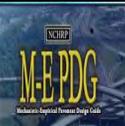
	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x	
			N <sub>8,2</sub> 3300	N <sub>8,2</sub> 5000	N <sub>8,2</sub> 6600	N <sub>8,2</sub> 8000	N <sub>8,2</sub> 10000		
		Rep.Mensuales			Rep.Mensuales			Rep.Mensuales	
<b>METODO INVIAS</b>	3 ≤ CBR < 5								
		MDC-2	12.5			MDC-2	12.5		
		BG -1	20			BG -1	20		
		SBG -1	20			SBG -1	20		

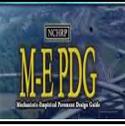


	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x	
			N <sub>8,2</sub> 3300	N <sub>8,2</sub> 5000	N <sub>8,2</sub> 6600		N <sub>8,2</sub> 8000	N <sub>8,2</sub> 10000	
		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales	
METODO AASHTO ME-PDG	CBR =5 (7157 PSI)		FALLA OK OK	FALLA OK OK	FALLA OK OK		FALLA OK OK	FALLA FALLA OK	
		MDC-2	10 12.5 15	10 12.5 15	10 10 20	MDC-2	10 12.5 15	10 15 20	
		BG -1	20 25 20	20 25 20 15	15 15 15	BG -1	25 25 25	20 20 20	
		SBG -1	20 20 20	20 20 20	20 20 20	SBG -1	20 20 20	20 20 20	

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x	
			N <sub>8,2</sub> 3300	N <sub>8,2</sub> 5000	N <sub>8,2</sub> 6600		N <sub>8,2</sub> 8000	N <sub>8,2</sub> 10000	
		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales	
METODO AASHTO ME-PDG	CBR =6 (8042 PSI)		FALLA OK OK	FALLA OK OK	FALLA OK OK		FALLA OK OK	FALLA FALLA OK	
		MDC-2	10 12.5 15	10 12.5 15	15 20 25	MDC-2	10 12.5 15	15 10 20	
		BG -1	20 20 20	25 25 25 15	15 15 15	BG -1	25 25 25	20 20 20	
		SBG -1	20 20 20	30 30 30	20 20 20	SBG -1	20 20 20	20 20 20	

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x	
			N <sub>8,2</sub> 3300	N <sub>8,2</sub> 5000	N <sub>8,2</sub> 6600		N <sub>8,2</sub> 8000	N <sub>8,2</sub> 10000	
		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales	
METODO INVIAS	7 ≤ CBR < 10								
		MDC-2	7.5			MDC-2	10		
		BG -1	20			BG -1	25		
		SBG -1	20			SBG -1	20		

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x		
			N <sub>8,2</sub> 3300	N <sub>8,2</sub> 5000	N <sub>8,2</sub> 6600		N <sub>8,2</sub> 8000	N <sub>8,2</sub> 10000		
		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales		
METODO AASHTO ME-PDG	CBR =7 (8876 PSI)		FALLA OK	FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		
			MDC-2	75 15	75 10 125		75 10 125	MDC-2	75 10 15	75 10 15
			BG -1	20 20	20 20 20		20 20 20	BG -1	20 20 20	20 20 20
			SBG -1	20 20	20 20 20	20 20 20	SBG -1	20 20 20	20 20 20	

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x	
			N <sub>8,2</sub> 3300	N <sub>8,2</sub> 5000	N <sub>8,2</sub> 6600		N <sub>8,2</sub> 8000	N <sub>8,2</sub> 10000	
		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales	
METODO AASHTO ME-PDG	CBR =8 (9669 PSI)		FALLA OK	FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		FALLA OK OK	FALLA, FALLA OK	
			MDC-2	125 15	75 10 125 10 125 15		MDC-2	10 125 15	75 10 25
			BG -1	15 15	20 20 20 15 15 15		BG -1	20 20 20	20 20 20
			SBG -1	20 20	20 20 20	20 20 20	SBG -1	20 20 20	20 20 20

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x	
			N <sub>8,2</sub> 3300	N <sub>8,2</sub> 5000	N <sub>8,2</sub> 6600		N <sub>8,2</sub> 8000	N <sub>8,2</sub> 10000	
		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales		Rep.Mensuales	
METODO AASHTO ME-PDG	CBR =9 (10425 PSI)		FALLA OK	FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK	
			MDC-2	125 15	75 10 125 10 125 15		MDC-2	75 10 15	75 10 25
			BG -1	15 15	20 20 20 15 15 15		BG -1	20 20 20	20 20 20
			SBG -1	20 20	20 20 20	20 20 20	SBG -1	20 20 20	20 20 20

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x N <sub>8,2</sub> 3300 Rep.Mensuales	Tb...0.75 x N <sub>8,2</sub> 5000 Rep.Mensuales	Tc...1.0 x N <sub>8,2</sub> 6600 Rep.Mensuales	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x N <sub>8,2</sub> 8000 Rep.Mensuales	Te...1.50 x N <sub>8,2</sub> 10000 Rep.Mensuales
	METODO INVIAS	10 ≤ CBR < 15						

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x N <sub>8,2</sub> 3300 Rep.Mensuales	Tb...0.75 x N <sub>8,2</sub> 5000 Rep.Mensuales	Tc...1.0 x N <sub>8,2</sub> 6600 Rep.Mensuales	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x N <sub>8,2</sub> 8000 Rep.Mensuales	Te...1.50 x N <sub>8,2</sub> 10000 Rep.Mensuales
	METODO AASHTO ME-PDG	CBR = 10 (11153 PSI)						

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x N <sub>8,2</sub> 3300 Rep.Mensuales	Tb...0.75 x N <sub>8,2</sub> 5000 Rep.Mensuales	Tc...1.0 x N <sub>8,2</sub> 6600 Rep.Mensuales	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x N <sub>8,2</sub> 8000 Rep.Mensuales	Te...1.50 x N <sub>8,2</sub> 10000 Rep.Mensuales
	METODO AASHTO ME-PDG	CBR = 11 (11854 PSI)						

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x		
			Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales		Rep.Mensuales	Rep.Mensuales		
METODO AASHTO ME-PDG	CBR =12 (12533 PSI)		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		
			MDC-2	10, 12.5, 15	5, 10, 12.5		10, 12.5, 15	MDC-2	7.5, 10, 15	7.5, 10, 15
			BG -1	15, 15, 15	15, 15, 15		15, 15, 15	BG -1	15, 15, 15	15, 15, 15
			SBG -1	20, 20, 20	20, 20, 20		20, 20, 20	SBG -1	20, 20, 20	20, 20, 20

	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x		
			Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales		Rep.Mensuales	Rep.Mensuales		
METODO AASHTO ME-PDG	CBR =13 (13192 PSI)		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		
			MDC-2	10, 12.5, 15	5, 12.5, 12.5		10, 12.5, 15	MDC-2	7.5, 12.5, 15	10, 12.5, 15
			BG -1	20, 20, 20	20, 20, 20		20, 20, 20	BG -1	20, 20, 20	20, 15, 20
			SBG -1	20, 20, 20	20, 20, 20		20, 20, 20	SBG -1	20, 20, 20	20, 20, 20

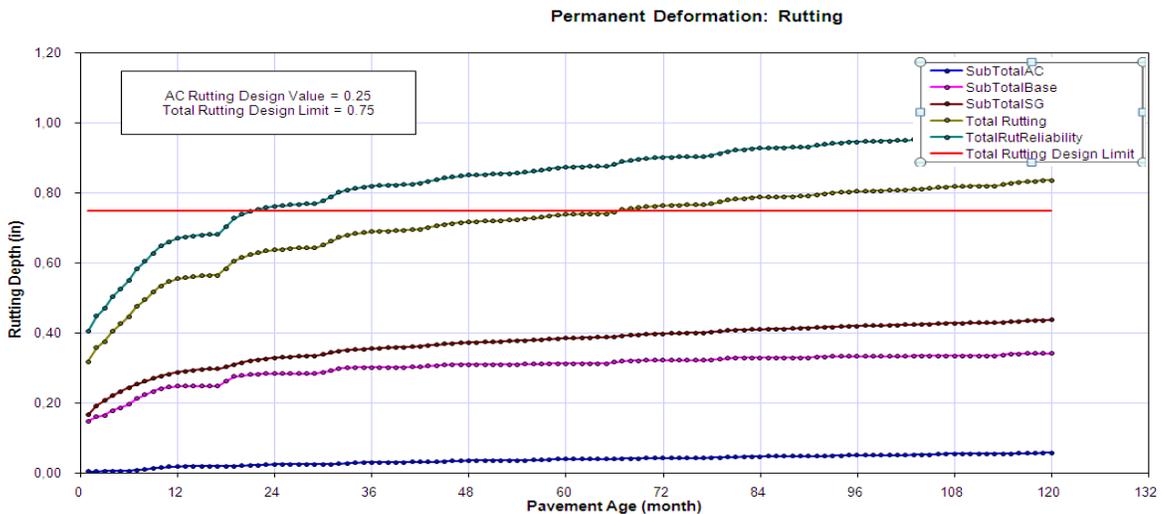
	Subrasante (CBR%)	T1 0.5 < N <sub>8,2</sub> ≤ 1	Ta...0.5 x	Tb...0.75 x	Tc...1.0 x	T2 1.0 < N <sub>8,2</sub> ≤ 2	Td...1,2 x	Te...1.50 x		
			Rep.Mensuales	Rep.Mensuales	Rep.Mensuales		Rep.Mensuales	Rep.Mensuales		
METODO AASHTO ME-PDG	CBR =13.5 (13500 PSI)		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		FALLA, FALLA OK	FALLA, FALLA OK		
			MDC-2	5, 10, 12.5	10, 12.5, 15		10, 12.5, 15	MDC-2	7.5, 12.5, 15	10, 15, 25
			BG -1	20, 25, 20	15, 15, 15		15, 15, 15	BG -1	20, 20, 20	15, 15, 15
			SBG -1	20, 20, 20	20, 20, 20		20, 20, 20	SBG -1	20, 20, 20	20, 20, 20

## CONCLUSIONES

La deformación permanente total en pavimentos flexibles es la suma de la deformación producida en cada una de las capas de pavimento, pero en la actualidad los métodos empíricos suponen que esta deformación se genera solo en la capa de subrasante, lo cual no genera el comportamiento real de las estructuras de pavimento.

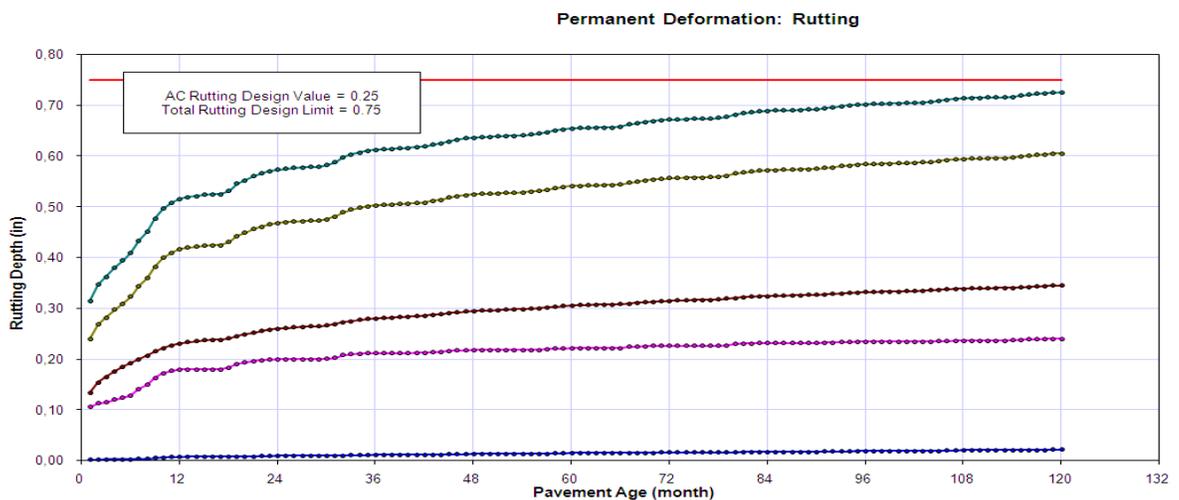
A continuación, se presenta la comparación de dos gráficas de deformación permanente, la primera corresponde a una estructura de pavimento propuesta en el Manual del INVIAS (para una Región Fría ( Ipiales) con un CBR 3 % y un tránsito de  $1.5 \times 10^6$  ejes equivalentes) y la segunda corresponde a una estructura de pavimento que cumpliría satisfactoriamente para el período de diseño, los dos pavimentos han sido evaluados con el Software AASHTO ME –PDG 2002, y tienen como valor máximo una deformación permanente total de 20 mm en 10 años.

Graficas de deformación de la estructura propuesta en el Manual del INVIAS



En esta gráfica, se observa que se generara antes del segundo año de deformación permanente de la totalidad de la estructura, cabe recordar que el periodo de diseño de la estructura es de 10 años, lo cual significa que el pavimento en menos de dos años podría presentar deterioros. Al analizar solo la deformación permanente en la carpeta asfáltica se puede observar que la estructura de pavimento tendría un buen desempeño durante el período de diseño, lo cual se cumple pero no refleja ni es equivalente a la deformación permanente de toda la estructura de pavimento.

Graficas de Deformación de la estructura propuesta y diseñada por el método AASHTO 2002 ME-PDG



En esta gráfica se observa que transcurridos 120 meses no se generara deformación permanente de la estructura total, ni en ninguna de las capas que la conforman, lo cual significa que el pavimento en sus 10 años del período de diseño no presentará deterioros. En el anexo A, se presenta los reportes de las corridas del Programa AASHTO ME-PDG 2002, para estas estructuras.

En las capas de rodado y base asfáltica un incremento de temperatura genera disminución de la rigidez y por lo tanto un incremento en la deformación del pavimento, esto no es evaluado por los métodos empleados en la actualidad pero si por el Método de diseño AASHTO 2002 ME-PDG.

En el método de diseño del Instituto Nacional de Vías, los cambios en las condiciones de tránsito o de clima de la zona de estudio generan perdida de la confiabilidad en la predicción del dimensionamiento de pavimentos, lo cual se ha comprobado en el presente trabajo. Donde se presentó algunas estructuras de

pavimento propuestas por el Manual del Instituto Nacional de Vías y verificadas a través del Método AASHTO ME-PDG para condiciones climáticas correspondientes a la ciudad de Pasto e Ipiales, las cuales no alcanzan su óptimo desempeño en el período de diseño y se corroboró que los espesores propuestos por el Manual del INVIAS son insuficientes.

En Colombia y en Nariño se deben realizar estudios particulares para obtener registros permanentes y confiables de parámetros como son el tránsito, CBRs, materiales de la región y condiciones climáticas, que permitan predecir el comportamiento de las estructuras de pavimento en el tiempo y aplicar métodos de diseño como el AASHTO ME- PDG en el Nivel 1 y 2 de confiabilidad.

## **RECOMENDACIONES**

Aplicar a el proceso para las diferentes ciudades de Nariño y así tener óptimos resultados en cuanto a diseño de pavimentos asfálticos.

Trabajar los datos seleccionados relacionados al clima según la guía de diseño AASHTO 2002 nivel 3 y definir una estación parecida a la ciudad con la que se está trabajando.

Verificar y cotejar resultados con el método del instituto nacional de vías.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials. (2002). Guide for Design of Pavement Structures, Washington, D. C.

GIDEL, G., BREYSSE, D. & DENIS, A. (2002). Modeling the Unbound Granular Material Long Term Behavior. En: 15th ASCE Engineering Mechanics Conference, Columbia University, New York. 10,11 pp.

GOMES CORREIA, A. (2000). Modelling Unbound Granular Materials. En: Recommendations for Pavement Design. Technical University of Lisbon – IST.

Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, National Cooperative Highway Research Program 1-37A, Final Report, March 2004.

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. (2001). Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bogotá D.C.

INVIAS - Instituto Nacional de Vías. (2002). Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en vías con Bajos, Medios y Altos volúmenes de Tránsito. Bogotá D.C., Colombia.

INVIAS - Instituto Nacional de Vías. (2007). Normas de Ensayos de Materiales para Carreteras. Bogotá D.C., Colombia.

La Ingeniería de los Suelos en las Vías Terrestres, Volumen I y Volumen II. Ing. Alfonso Rico y Hermilo del Castillo. Editorial Limusa, México.

McDOWELL, G. R. & HAU, K. W. (2004). The Use of a Kinematic Hardening Model for Estimating Subgrade Stiffness in Layered-elastic Analyses. En: International Journal of Pavement Engineering, Vol. 5. pp. 53-59.

National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council. (2004). Guide for Mechanistic - Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures. Final Report. Illinois, USA.

PAUL GARNICA ANGUAS, ANGEL CORREA. Conceptos mecanicistas de pavimentos, 2004.

REYES LIZCANO, Fredy Alberto Diseño Racional de Pavimentos. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de ingeniería, 2005.

# ANEXOS

**Anexo A. Reporte de información suministrada por el software AASHTO ME  
-PDG 2002 para la estructura.**