

# **CAPITULO I      ANALISIS DEL METODO AASHTO 2008 (M-EPDG) EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

## **1.1.- INTRODUCCION**

El pavimento es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos.

Existen en general dos clases de estructuras de pavimento, los flexibles y los rígidos; la principal diferencia entre estos es la forma cómo reparten las cargas. Desde el punto de vista de diseño, los pavimentos flexibles están formados por una serie de capas y la distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema de capas. Los rígidos tienen un gran módulo de elasticidad y distribuyen las cargas sobre un área grande, la consideración más importante es la resistencia estructural del concreto hidráulico.

El siguiente trabajo será enfocado exclusivamente al diseño de pavimentos flexibles con ayuda del programa mechanistic – empirical pavement design guide (M-EPDG). La Nueva Guía de Diseño de Pavimentos Mecanístico-Empírico (MEPDG) es actualmente la herramienta más completa que existe para el análisis y diseño de pavimentos. MEPDG es el resultado de varios años de investigación en los Estados Unidos como parte del proyecto NCHRP 1-37<sup>a</sup> “Development for the 2002 Guide for Design of New and Rehabilitated Pavement Structures”. Los manuales y reportes fueron publicados inicialmente en el año 2004, habiendo sido revisados y mejorados antes de ser utilizados con fines prácticos. En el 2008, AASHTO publicó un manual del MEPDG para el uso práctico de este método en el diseño de pavimentos.

Utilizando el MEPDG, las alternativas de las estructuras de pavimento son evaluadas para verificar su desempeño a lo largo de su vida en servicio. Los modelos de comportamiento son basados en las propiedades de los materiales para evaluar la probabilidad de falla. Un nuevo software ha sido desarrollado para asistir con el diseño mecanístico-empírico de pavimentos.

El programa provee herramientas para evaluar el efecto de las condiciones particulares del material en el comportamiento del pavimento, además de brindar un mejor modelaje de los factores que afectan al pavimento: clima, cargas de tráfico, fenómeno de envejecimiento, variación del comportamiento de los materiales y su relación con la vida útil esperada del pavimento.

Las distintas ediciones de la *Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos* han servido bien desde hace varias décadas; sin embargo, existen limitaciones para su uso como por ejemplo:

El tráfico ha aumentado enormemente (de 10 a 20 veces), el modelo ha cambiado del 1960 que eran diseños de 5 a 15000000 camiones, mientras que hoy estos pavimentos deben estar diseñados para 50 a 200 millones de camiones y más en un diseño de vida más larga, incluso (por ejemplo 30-40 años frente a 20 años).

## **1.2.- ANTECEDENTES**

En Bolivia, el sistema vial carretero tiene una longitud de 67.076 km divididos administrativamente en: Red Fundamental (Administración Boliviana de Carreteras), Red Departamental (Gobiernos Autónomos Departamentales) y Red Municipal (Gobiernos Autónomos Municipales), sólo el 8,049% de los caminos totales son asfaltados, y de la red fundamental el 50% está asfaltada. El resto es de tierra o ripio; lo que se debe tratar es que cada vez existan más caminos asfaltados, puesto que los caminos unen regiones y significa un cambio y mejor de vida para los usuarios.

Prácticamente todo lo relacionado con el diseño de pavimentos nuevos y rehabilitados es variable o incierto en la naturaleza. Los materiales y la construcción también introducen una significativa medida de la variabilidad. Además, las aceras presentan importantes variaciones en el estado a lo largo de su longitud.

A pesar de que los conceptos mecanicistas proporcionan una metodología precisa y realista del diseño de pavimento, es necesario un método práctico para considerar las incertidumbres y variaciones en el diseño para que un pavimento rehabilitado o nuevo pueda ser diseñado para un nivel deseado de fiabilidad.

El nivel deseado de fiabilidad se especifica junto con el nivel aceptable de peligro al final de la vida de diseño, es la definición de los requisitos de rendimiento para un diseño de pavimento en esta Guía. Por ejemplo, un criterio podría ser el límite de profundidad de surco a 25 mm en un diseño fiabilidad del 90 por ciento. Por lo tanto, si un diseñador ha diseñado 100 proyectos, 90 de estos proyectos presentan profundidades en el surco inferior a 25 mm al final de la vida de diseño. Diferentes niveles de confiabilidad se pueden especificar para diferentes fallas en el mismo diseño.

La fiabilidad ha sido incorporada en la guía en una forma coherente y uniforme para todos los tipos de pavimentos. Una solución de análisis permite al diseñador realizar un diseño para un nivel deseado de fiabilidad para cada falla e IRI. La fiabilidad del diseño se define como la probabilidad de que cada uno de los principales tipos de falla e IRI será menos de un seleccionado nivel crítico durante el periodo de diseño.

### **1.3.- JUSTIFICACION**

La infraestructura vial incide mucho en la economía de nuestro país por el gran valor que tiene en ésta, pues al alto costo de construcción, mantenimiento o rehabilitación hay que adicionarle también los costos que se derivan por el mal estado de las vías; por eso los ingenieros que se dediquen a esta rama de la profesión se enfrentarán a un reto muy importante que es el de proporcionar estructuras de pavimentos eficaces con presupuestos cada vez más restringidos y en el menor tiempo.

La tecnología avanza a pasos agigantados; por tal motivo, es necesario no quedarse en el tiempo, el diseño de pavimentos debe tener una evolución, actualmente es empírico; con el programa se busca que el diseño sea empírico – mecanístico. En un futuro este diseño será simplemente mecanístico.

La nueva guía de la AASHTO 2008 es uno de los métodos más actuales; recién está empezando a ser difundido, por tal motivo, el interés de estudiar el tema. Aparte la AASHTO siempre se ha ido actualizando, modificando su método de tal manera que se pueda seguir aplicando; las distintas ediciones de la guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos han servido bien desde hace varias décadas (ediciones 1961, 1972, 1986, 1993, 1998); sin embargo, el diseño de pavimentos evoluciona, sobre todo

porque sus variables también cambian o aparecen nuevas variables, por ejemplo, ahora se toma más en cuenta el material, la vida útil se alarga, adopta un desempeño de pavimentos más realista.

Esto significa que el diseñador estará de ahora en adelante más “consciente” del desempeño futuro de los pavimentos; el MEPDG nos brinda un marco de mejoramiento continuo a través de los años venideros para poder mantenerse actualizado con los tipos de vehículos, materiales nuevos, computadoras, técnicas de construcción, conceptos de diseño.

El MEPDG representa un cambio sustancial en la manera de diseñar pavimentos, acerca más al diseñador a la realidad y considera tráfico, características estructurales, materiales, construcción y clima.

Primeramente, el diseñador considera las condiciones del sitio (tráfico, clima, sub-base, pavimento, condición existente) y la construcción de condiciones de proponer un diseño de ensayo para un nuevo pavimento o rehabilitación, (cabe resaltar que el alcance del siguiente trabajo está enfocado exclusivamente al diseño de un pavimento nuevo).

El diseño del ensayo es evaluado para la adecuación a través de la predicción de las principales fallas. Si el diseño no se ajusta a los criterios de rendimiento deseado, se revisa y el proceso de evaluación se repite si fuese necesario.

Por lo tanto, el diseñador participa plenamente en el proceso de diseño y tiene la flexibilidad para considerar las características del diseño y materiales para las condiciones reinantes en el sitio. Este enfoque permite optimizar el diseño y asegurar más que el desempeño del pavimento sea aceptable y adecuado para las condiciones dadas.

El método AASHTO de ediciones anteriores es utilizado en nuestro medio; por tal motivo, es necesario estar al tanto de sus avances, cambios o modificaciones, esto facilita su implementación en nuestro medio puesto que brinda una buena confiabilidad de diseño; esta confiabilidad del método AASHTO 2008 está basada en los tipos de falla, rugosidad (comodidad), y nos brinda la probabilidad de que cierta falla e IRI no excedan un nivel crítico; por tanto, el diseñador debe seleccionar niveles y criterios de desempeño para los tipos de falla e IRI.

EL procedimiento evalúa el diseño propuesto para determinar si cumple con el comportamiento esperado bajo los criterios establecidos para un determinado nivel de

confiabilidad; además, provee herramientas para evaluar el efecto de las condiciones particulares del material en el comportamiento del pavimento, mejor modelaje de los factores que afectan al pavimento: clima, cargas de tráfico, fenómeno de envejecimiento, variación del comportamiento de los materiales y su relación con la vida útil esperada del pavimento; además, sus conceptos son adaptables a una gama amplia de aplicaciones futuras.

## **1.4.- OBJETIVOS**

### **1.4.1.- OBJETIVO GENERAL**

- Realizar un análisis de los principios, conceptualización, parámetros, procesos metodológicos, software, resultados y su aplicabilidad en nuestro medio del método empírico mecanista de la AASHTO 2008 para pavimentos flexibles

### **1.4.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Estudiar las características y aspectos generales de pavimentos flexibles.
- Estudiar generalidades de anteriores ediciones del método AASHTO (93) para el diseño de pavimentos flexibles.
- Analizar los parámetros de diseño de pavimentos flexibles de ediciones anteriores del método AASHTO (93)
- Realizar una aplicación práctica de diseño de un pavimento flexible utilizando M-EPDG (mechanistic – empirical pavement design guide), es decir, el método AASHTO 2008, en el tramo San Andrés – Bella Vista.
- Analizar los elementos de diseño del tramo San Andrés – Bella Vista, para el diseño de un pavimento flexible tomando en cuenta el método AASHTO 2008.
- Analizar la importancia de los datos de entrada y su influencia sobre el diseño final
- Analizar el proceso de diseño del programa en pavimentos flexibles
- Determinar las ventajas de uso del método de AASHTO 2008 para el diseño de pavimentos flexibles.
- Determinar las limitaciones del método AASHTO 2008 para el diseño de pavimentos flexibles.

- Determinar las diferencias del método AASHTO 2008 con ediciones anteriores del método AASHTO (93).
- Elaborar conclusiones y recomendaciones.

### **1.5.- ALCANCE**

El método de la AASHTO 2008 es un método muy amplio puesto que abarca el diseño de pavimentos, tanto flexibles como rígidos; este diseño puede ser de pavimento nuevo o rehabilitación.

El presente trabajo estará exclusivamente enfocado al diseño de pavimentos flexibles con el método de la AASHTO 2008 utilizando el software (M-EPDG).

En el capítulo 2 se menciona solamente las características generales de los pavimentos, su composición, parámetros de diseño y algunos métodos de dimensionamiento. Estos métodos de dimensionamiento mencionados en el siguiente trabajo como una edición anterior del método de la AASHTO (1993) serán analizados sólo superficialmente, es decir, solamente sus características y aspectos generales sin profundizar los mismos. El método AASHTO 2008 también mencionado en este capítulo es una introducción al mismo puesto que su posterior análisis será en el siguiente capítulo.

El capítulo 3 es un análisis del método AASHTO 2008 (M-EPDG) para el diseño de pavimentos flexibles, donde se analizará los principios y parámetros de diseño como ser: IRI, rugosidad, tráfico, clima, del método AASHTO 2008 (M-EPDG), es decir los aspectos generales de los datos necesarios para desarrollar la aplicación práctica del tramo San Andrés – Bella Vista. La calibración mencionada en este capítulo es realizada sólo como teoría, puesto que para llevarse acabo se necesita crear una base de datos muy completa, realizando ensayos y mediciones que actualmente no son posibles en nuestro medio, pero esto no es una limitación para realizar la aplicación práctica, debido a la que la calibración se realiza simplemente para obtener resultados más satisfactorios; por tanto este trabajo está destinado a presentar el método AASHTO 2008 como una nueva alternativa al diseño de pavimentos flexibles mostrando sus cualidades y limitaciones, diferencia con ediciones anteriores (93), es decir, es una evaluación del método, siendo este sólo el primero de los pasos necesarios para su implementación en nuestro medio.

El capítulo 4 es una aplicación práctica en el tramo San Andrés – Bella Vista donde se determinará los parámetros de diseño necesarios ya estudiados en el anterior capítulo para el diseño de un pavimento flexible aplicando el método de la AASHTO 2008 utilizando el software (M-EPDG).

En el último capítulo se buscará responder a los objetivos tanto generales como específicos mencionados al inicio del trabajo, como por ejemplo, sus ventajas, limitaciones, diferencias con anteriores ediciones de la AASHTO (93), la importancia de los datos de entrada y su influencia en el resultado final, es decir, nuestras conclusiones respecto al método AASHTO 2008 y las recomendaciones necesarias para su uso óptimo.

## **CAPITULO II      DIMENSIONAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES**

### **2.1.- Generalidades**

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 subrasante 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 transmite durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento, es decir, un pavimento es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos.

El pavimento flexible debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir a las terracerías los esfuerzos por las cargas del tránsito. Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran las siguientes:

- Resistencia estructural.- Debe soportar las cargas impuestas por el tránsito que producen esfuerzos normales y cortantes en la estructura. En los pavimentos flexibles se consideran los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural. Además de los esfuerzos cortantes, también se tienen los producidos por la aceleración, frenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura.
- Durabilidad.- La durabilidad está ligada a factores económicos y sociales. La durabilidad que se le desee dar al camino depende de la importancia de este. Hay veces que es más fácil hacer reconstrucciones para no tener que gastar tanto en el costo inicial de un pavimento.
- Requerimientos de conservación.- Los factores climáticos influyen de gran manera en la vida de un pavimento. Otro factor es la intensidad del tránsito, ya que se tiene que prever el crecimiento futuro. Se debe tomar en cuenta el comportamiento futuro

de las terracerías, deformaciones y derrumbes. La degradación estructural de los materiales por carga repetida es otro aspecto que no se puede dejar de lado. La falta de conservación sistemática hace que la vida de un pavimento se acorte.

- Comodidad.- Para grandes autopistas y caminos, los métodos de diseño se ven afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad de proyecto. La seguridad es muy importante al igual que la estética.

## 2.2.- Composición

Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.



Figura 1

### 2.2.1.- Subrasante.-

Plano superior del movimiento de tierras, que se ajusta a requerimientos específicos de geometría y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las sollicitaciones que genera el tránsito. Sobre la subrasante se construye el pavimento y las bermas.

### 2.2.2.- La subbase granular.-

Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la subrasante y la base. En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR mayor o igual a 40% y la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de los Ángeles de no más de 40%.

- **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 subrasante 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 subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad.
- **Disminución de las deformaciones.** Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones) o a cambios extremos de temperatura (heladas), pueden absorberse con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.
- **Resistencia.** La subbase 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 subrasante.
- **Drenaje.** En muchos casos la subbase debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas; es como impedir la ascensión capilar.

### 2.2.3.- La base granular.-

Base conformada exclusivamente por una mezcla de suelos, que habitualmente cumplen con ciertos requisitos en cuanto a granulometría, límites de Atterberg, capacidad de soporte y otros. Cuando el material se use como base para tratamiento superficial doble el contenido mínimo de chancado será de 70%, su tamaño máximo absoluto será de 40 mm, y su Índice de Plasticidad máximo será de 4%, salvo que el proyecto estipule otro valor, debidamente justificado, el que en ningún caso podrá exceder el 6 %. En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR 80%; la fracción gruesa

deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Ángeles, de no más de 35%. En caso de tratamiento superficial doble, el soporte deberá ser  $CBR \cdot 100\%$

- **Resistencia.** La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.
- **Función económica.** Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la subbase respecto a la base.

#### 2.2.4.- Carpeta.-

En cuanto a propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte  $CBR = 60\%$ . En zonas donde se permite efectuar el ensaye sin inmersión, este valor deberá ser del 80%. La fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Ángeles, de no más de 30%.

- **Superficie de rodamiento.** La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.
- **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.

### 2.3.- Parámetros de diseño

Estos parámetros serán estudiados con mayor profundidad posteriormente dependiendo del método de dimensionamiento.

#### 2.3.1.- Tráfico.-

Interesan para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por eje (simple, tándem o trídem) esperadas en el carril de diseño (el más solicitado, que determinará la estructura del pavimento de la carretera) durante el período de diseño adoptado. La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga) son fundamentales para el cálculo. Además, se

deben tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las solicitaciones tangenciales en tramos especiales (curvas, zonas de frenado y aceleración, etc.), las velocidades de operación de los vehículos (en especial las lentas en zonas de estacionamiento de vehículos pesados), la canalización del tránsito, etc.

### **2.3.2.- La subrasante.-**

De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea éste flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento - retracción).

Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste; por esta razón, cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar este problema es mediante la estabilización de este tipo de suelo con algún aditivo; en nuestro medio, los mejores resultados se han logrado mediante la estabilización de suelos con cal.

### **2.3.3.- Clima.-**

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 subrasante 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.

## **2.4.- Métodos de dimensionamiento**

Existen varios métodos de diseño para pavimentos flexibles, pero para el enfoque correcto de este proyecto vimos por conveniente repasar sólo el método AASHTO 1993, esto para verificar la evolución que ha tenido el método, comparado con su última versión (AASHTO 2008)

### **2.4.1.- Método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles (versión 1993)**

#### **2.4.1.1.-Introducción.-**

El primer antecedente en el diseño de pavimentos según el método AASHTO se tiene con el AASHO Road Test que fue un ensayo realizado sobre pavimentos de determinadas características bajo diferentes cargas en Ottawa, Illinois entre 1958 y 1960. De estos ensayos se obtuvo información para ser aplicada en la metodología de diseño de pavimentos. Así aparece la "AASHO Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavement" (1962) que contenía procedimientos de diseño basados en modelos empíricos deducidos de datos recolectados en el AASHO Road Test.

Luego aparece la "AASHTO Interim Guide for the Design of Pavement Structures en 1972 y luego de hacer observaciones a partir de 1983, aparece en 1986 la "AASHTO Guide for the Design of pavement Structures" con muchas modificaciones con respecto a la de 1972 (se tiene en cuenta la confiabilidad, módulos resilientes de materiales, coeficientes de drenaje y efecto de subrasantes expansivas o sometidas a congelación y deshielo) y finalmente, en 1993 fue hecha una versión revisada de esta guía, que no ofrece cambios en lo que a diseño de pavimentos flexibles se refiere.

### **2.4.1.2.- Conceptos de performance o comportamiento de pavimento**

La performance o comportamiento de un pavimento puede definirse como la capacidad estructural medible a lo largo de su período de diseño.

La capacidad funcional comprende:

- Calidad aceptable de rodadura.
- Adecuada fricción superficial.
- Geometría apropiada para seguridad.
- Aspecto estético.

La capacidad estructural del pavimento implica soportar las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales.

La capacidad estructural y funcional están íntimamente relacionadas; en efecto, un deterioro estructural de un pavimento se manifiesta por una disminución de su capacidad funcional ya que hay un incremento en rugosidad, ruido, y aún riesgo para los vehículos y ocupantes que lo transiten; no obstante, hay otros tipos de fallas estructurales que pueden progresar sin que los usuarios lo noten hasta etapas muy avanzadas, también puede haber pérdida de capacidad funcional sin que esto implique pérdida de capacidad estructural

### **2.4.1.3.- Método de la AASHTO 1993 para el Diseño de la Sección Estructural de los Pavimentos**

El método de la AASHTO, versión 1993, describe con detalle los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles y rígidos de carreteras. En el caso de los pavimentos flexibles, el método establece que la superficie de rodamiento se resuelve solamente con concreto asfáltico y tratamientos superficiales, pues asume que tales estructuras soportarán niveles significativos de tránsito (mayores de 50,000 ejes equivalentes acumulados de 8.2 ton. durante el período de diseño), dejando fuera pavimentos ligeros para tránsitos menores al citado, como son los caminos revestidos o de terracería.

#### **2.4.1.4.- Método de diseño**

Los procedimientos involucrados en el método de diseño, versión 1993, están basados en las ecuaciones originales de la AASHO que datan de 1961, producto de las pruebas en Ottawa, Illinois, con tramos a escala natural y para todo tipo de pavimentos. Las versiones de 1986 y la de 1993 se han modificado para incluir factores o parámetros de diseño que no habían sido considerados y que son producto de la experiencia adquirida por ese organismo entre el método original y su versión más moderna. El diseño está basado primordialmente en identificar o encontrar un “número estructural SN” para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural SN requerido, el método proporciona la ecuación general y la gráfica de la Figura 4.1, que involucra los siguientes parámetros:

- El tránsito en ejes equivalentes acumulados para el período de diseño seleccionado, “W18”.
- El parámetro de confiabilidad, “R”.
- La desviación estándar global, “So”.
- El módulo de resiliencia efectivo, “Mr” del material usado para la subrasante.
- La pérdida o diferencia entre los índices de servicios inicial y final deseados, “.PSI”.

##### **2.4.1.4.1.- Tránsito**

Para el cálculo del tránsito, el método actual contempla los ejes equivalentes sencillos de 18,000 lb(8.2 ton) acumulados durante el período de diseño, por lo que no ha habido grandes cambios con respecto a la metodología original de AASHTO. La ecuación siguiente puede ser usada para calcular el parámetro del tránsito W18 en el carril de diseño.

$$W_{18} = D_D * D_L * W_{18}$$

$W_{18}$  = Tránsito acumulado en el primer año, en ejes equivalentes sencillos de 8.2 ton, en el carril de diseño.

$D_D$  = Factor de distribución direccional; se recomienda 50% para la mayoría de las carreteras, pudiendo variar de 0.3 a 0.7, dependiendo de en qué dirección va el tránsito con mayor porcentaje de vehículos pesados.

$W_{18}$  = Ejes equivalentes acumulados en ambas direcciones.

$D_L$  = Factor de distribución por carril, cuando se tengan dos o más carriles por sentido. Se recomiendan los siguientes valores:

**Tabla 4.1 Factor de distribución por carril**

Nº CARRILES EN CADA SENTIDO	PORCENTAJE DE W18 EN EL CARRIL DE DISEÑO
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4 o mas	50 – 75

**Fuente: AASHTO 1993**

Una vez calculados los ejes equivalentes acumulados en el primer año, el diseñador deberá estimar con base en la tasa de crecimiento anual y el período de diseño en años, el total de ejes equivalentes acumulados y así contar con un parámetro de entrada para la ecuación general o para el nomograma de la Figura 4.1.

**Tabla 4.2 Periodos de diseño en función del tipo de carretera**

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO
Urbana con altos volúmenes de tránsito	30 – 50 años
Interurbana con altos volúmenes de tránsito	20 – 50 años
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito	15 – 25 años

Revestidas con bajos volúmenes de tránsito	10 – 20 años
--	--------------

**Fuente: AASHTO 1993**

#### 2.4.1.4.2.- Confiabilidad “R”

Con el parámetro de Confiabilidad “R”, se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan, durarán como mínimo el período de diseño.

**Tabla 4.3 Valores de “R” de confiabilidad**

<b>NIVELES DE CONFIABILIDAD</b>	
<b>CLASIFICACION FUNCIONAL:</b>	<b>NIVEL RECOMENDADO POR AASHTO PARA CARRETERAS</b>
Carretera interestatal o autopista	80 – 99.9
Red principal o federal	75 – 95
Red secundaria o estatal	75 – 95
Red rural o local	50 – 80

**Fuente: AASHTO 1993**

#### 2.4.1.4.3.- Desviación estándar global “So”

Este parámetro está ligado directamente con la Confiabilidad(R), descrita anteriormente, habiéndolo determinado; en este paso, deberá seleccionarse un valor So “Desviación Estándar Global”, representativo de condiciones locales particulares, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito.

#### 2.4.1.4.4.- Características de subrasante

La subrasante es el suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural. En la década del 50 se puso más énfasis en las propiedades fundamentales de la subrasante y se idearon ensayos para caracterizar mejor a estos suelos. Ensayos usando cargas estáticas o de baja velocidad de deformaciones tales como el CBR, compresión simple son reemplazados por ensayos dinámicos y de repetición de cargas tales como el ensayo del

módulo resiliente, que representan mucho mejor lo que sucede bajo un pavimento en lo concerniente a tensiones y deformaciones. Las propiedades de los suelos pueden dividirse en dos categorías

a) Propiedades físicas: son usadas para selección de materiales, especificaciones constructivas y control de calidad.

b) Propiedades ingenieriles: dan una estimación de la calidad de los materiales para caminos. La calidad de los suelos para subrasantes se puede relacionar con el módulo resiliente, el módulo de Poisson, el valor soporte del suelo y el módulo de reacción de la subrasante. En el método actual de la AASHTO, la parte fundamental para caracterizar debidamente a los materiales, consiste en la obtención del Módulo de Resiliencia, con base en pruebas de laboratorio, realizadas en materiales a utilizar en la capa subrasante (Método AASHTO T-274), con muestras representativas (esfuerzo y humedad) que simulen las estaciones del año respectivas. El módulo de resiliencia “estacional” será obtenido alternadamente por correlaciones con propiedades del suelo, tales como el contenido de arcilla, humedad, índice plástico, etc. Finalmente, deberá obtenerse un “módulo de resiliencia efectivo”, que es equivalente al efecto combinado de todos los valores de módulos estacionales.

#### **2.4.1.4.5.- Pérdida o diferencia entre índices de servicio inicial y terminal**

El cambio o pérdida en la calidad de servicio que la carretera proporciona al usuario, se define en el método con la siguiente ecuación:

PSI = Índice de Servicio Presente

$$\Delta\text{PSI} = p_o - p_i \quad (4.3)$$

Donde:

$\Delta\text{PSI}$  = Diferencia entre los índices de servicio inicial u original y el final o terminal deseado.

$p_o$  = Índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para flexibles).

$P_t$  = Índice de servicio terminal, para el cual AASHTO maneja en su versión 1993 valores de 3.0, 2.5 y 2.0 recomendando 2.5 ó 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios.

#### **2.4.1.5.- Determinación de espesores por capas.**

Una vez que el diseñador ha obtenido el Número Estructural SN para la sección estructural del pavimento, utilizando el gráfico o la ecuación general básica de diseño,(Figura 4.1) donde se involucraron los parámetros anteriormente descritos (tránsito, R, So, M<sub>R</sub>, PSI),se requiere ahora determinar una sección multicapa que en conjunto provea de suficiente capacidad de soporte equivalente al número estructural de diseño original. La siguiente ecuación puede utilizarse para obtener los espesores de cada capa, para la superficie de rodamiento o carpeta, base y sub-base, haciéndose notar que el método de AASHTO, versión 1993, involucra coeficientes de drenaje particulares para la base y sub-base.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \quad (4.4)$$

Donde:

$a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$  = Coeficientes de capa representativos de carpeta, base y subbase respectivamente.

$D_1$   $D_2$   $D_3$  = Espesor de la carpeta, base y sub-base respectivamente.

$m_2$  y  $m_3$  = Coeficientes de drenaje para base y sub-base respectivamente.

Para la obtención de los coeficientes de capa  $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$  deberán utilizarse las Figuras 4.2 a 4.6, en donde se representan valores de correlaciones hasta de cinco diferentes pruebas de laboratorio: Módulo Elástico, Texas Triaxial, R - valor, VRS y Estabilidad Marshall. Para carpeta asfáltica ( $a_1$ ) Fig. 4.2

Para bases granulares ( $a_2$ ) Fig. 4.3

Para sub-bases granulares ( $a_3$ ) Fig.4.4

Para bases estabilizadas con cemento Fig. 4.5

Para estabilizadas con asfalto Fig.4.6

Para la obtención de los coeficientes de drenaje,  $m_2$  y  $m_3$ , correspondientes a las capas de base y sub-base respectivamente, el método actual de AASHTO se basa en la capacidad del drenaje para remover la humedad interna del pavimento, definiendo lo siguiente:

**Tabla 4.4 Capacidad del drenaje para remover la humedad**

<b>CALIDAD DE DRENAJE:</b>	<b>AGUA REMOVIDA EN:</b>
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	Agua no drena

**Fuente: AASHTO 1993**

En la Tabla 4.5 se presentan los valores recomendados para  $m_2$  y  $m_3$  (bases y sub-bases granulares sin estabilizar) en función de la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento pueda estar expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

**Tabla 4.5 Valores recomendados para modificar los coeficientes estructurales de capa de bases**

<b>Calidad del drenaje</b>	<b>Porcentaje de tiempo al cual está expuesta la estructura del pavimento a niveles de humedad próxima a la saturación</b>			
	<b>Menor del 1%</b>	<b>1 – 5%</b>	<b>5 – 25%</b>	<b>Mayor del 25%</b>
Excelente	1.40 – 1.36	1.36 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.8	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

**Fuente: AASHTO 1993**

Superficie de rodamiento elaborada con concreto asfáltico; el método no considera un posible efecto por el drenaje, por lo que en la ecuación de diseño sólo intervienen valores de m2 y m3 y no se asigna valor para m1 correspondiente a la carpeta. Para el cálculo de los espesores D1, D2 y D3 (en pulgadas), el método sugiere respetar los siguientes valores mínimos, en función del tránsito en ejes equivalentes sencillos acumulados:

**Tabla 4.6 Factor de distribución por carril**

<b>TRANSITO (ESAL's) EN EJE EQUIVALENTES</b>	<b>CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO</b>	<b>BASES GRANULARES</b>
Menor de 50000	1.0 o T.S.	4.0
50001 – 150000	20	4.0
150001 – 500000	25	4.0
500001 – 2000000	30	6.0
2000001 – 7000000	35	6.0
Mayor de 7000000	40	6.0

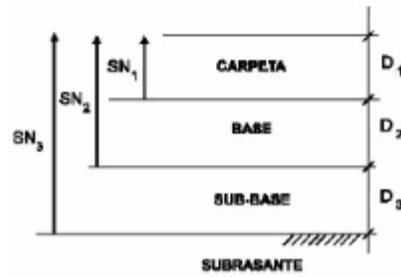
T.S. = Tratamiento superficial con sellos

**Fuente: AASHTO 1993**

#### **2.4.2.6.- Análisis del diseño final con sistema multicapa**

Deberá reconocerse que para pavimentos flexibles, la estructura es un sistema de varias capas y por ello deberá diseñarse de acuerdo a ello. Como ya se describió al principio del método, el “número estructural SN” sobre la capa subrasante o cuerpo del terraplén es lo primero a calcularse. De la misma manera, deberá obtenerse el número estructural requerido sobre las capas de la sub-base y base, utilizando los valores de resistencia aplicables para cada uno. Trabajando con las diferencias entre los números estructurales que se requieren sobre cada capa, el espesor máximo permitido de cualquier capa puede ser calculado. Por ejemplo, el número estructural máximo permitido para material de la capa de sub-base, debe ser igual al número estructural requerido sobre la sub-base restado del SN requerido sobre la subrasante. El Método AASHTO recomienda el empleo de la siguiente figura y ecuaciones:

Figura 4.8 RECOMENDACIONES DE AASHTO



Fuente: AASHTO 1993

$$D * 1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN * 1 = a_1 D_1 \geq SN_1$$

$$D * 2 \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 m_2}$$

$$SN * 1 + SN * 2 \geq SN_2$$

$$D * 3 \geq \frac{SN_3 - (SN_1 + SN_2)}{a_3 m_3}$$

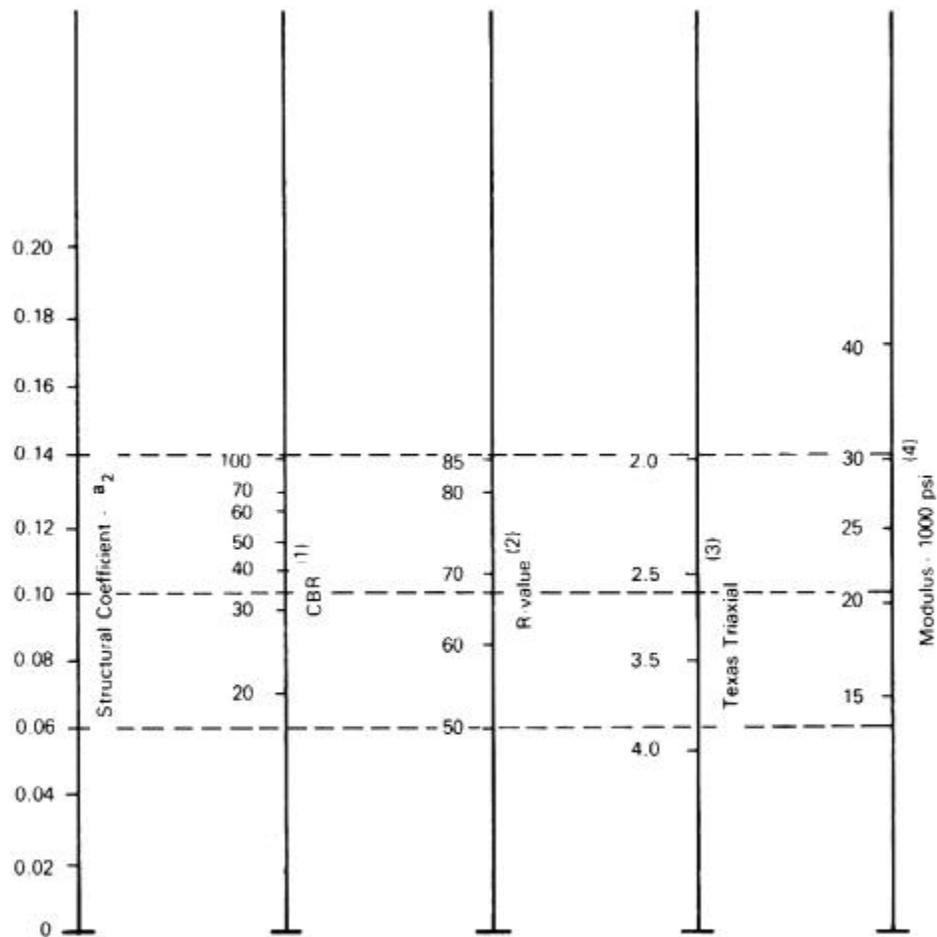
NOTAS:

1) a, D, m y SN corresponden a valores mínimos requeridos.

2) D\* y SN representan los valores finales de diseño.

Con todo lo anterior, queda configurada la sección estructural de proyecto para pavimento flexible.

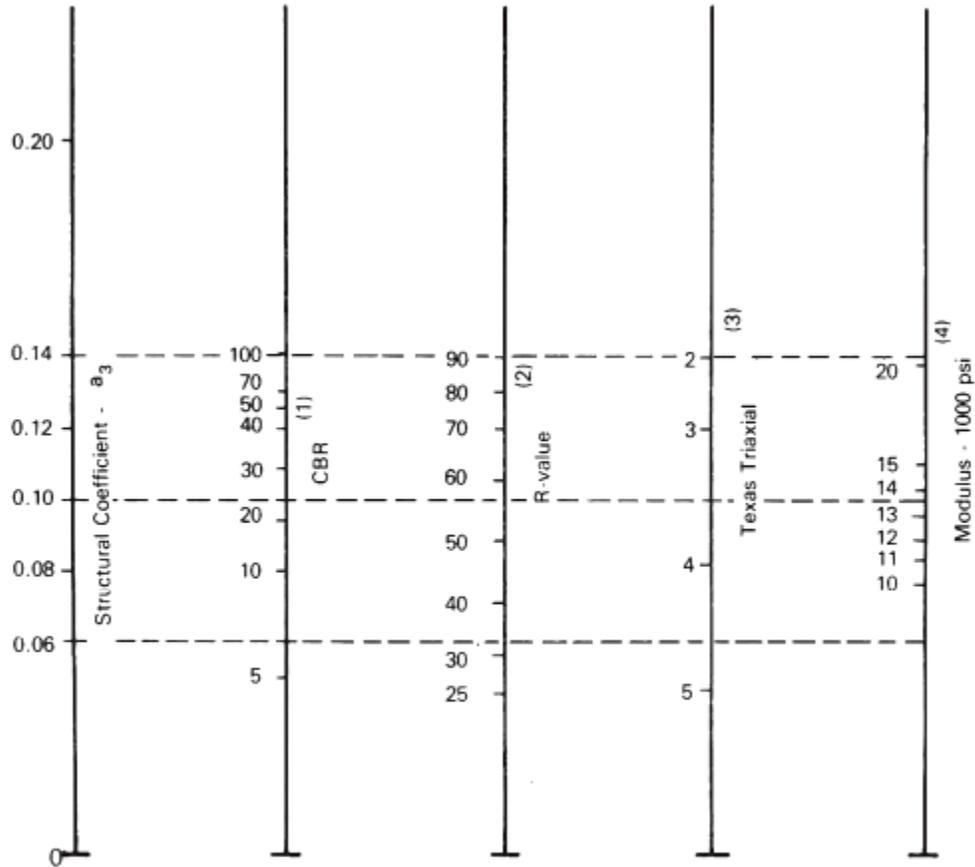
**Figura 4.3.- VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA “a2”, EN BASES GRANULARES.**



- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois.
- (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming.
- (3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
- (4) Scale derived on NCHRP project (3).

**Fuente: AASHTO 1993**

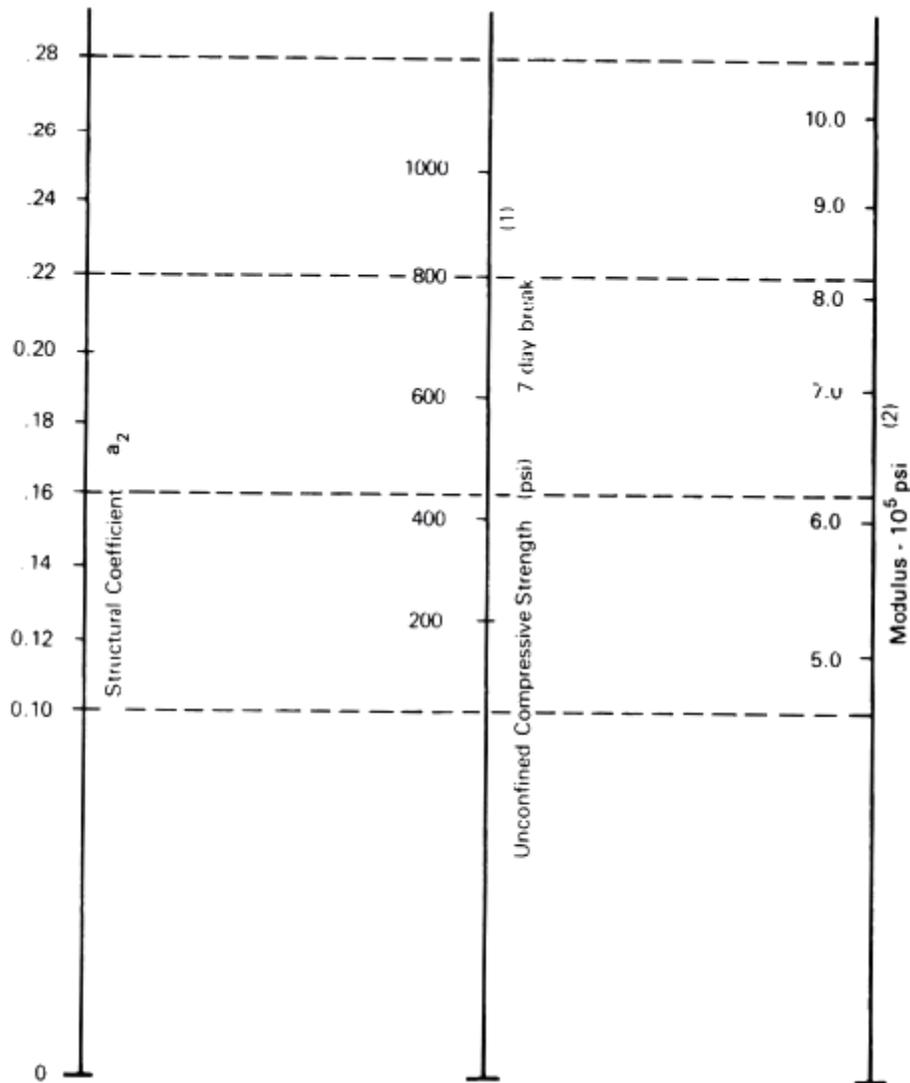
**Figura 4.4.- VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA “a3”, EN SUBBASES GRANULARES.**



- (1) Scale derived from correlations from Illinois.
- (2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming.
- (3) Scale derived from correlations obtained from Texas.
- (4) Scale derived on NCHRP project (3).

**Fuente: AASHTO 1993**

**Figura 4.5.- VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA “a<sub>2</sub>”, EN BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO PORTLAND**

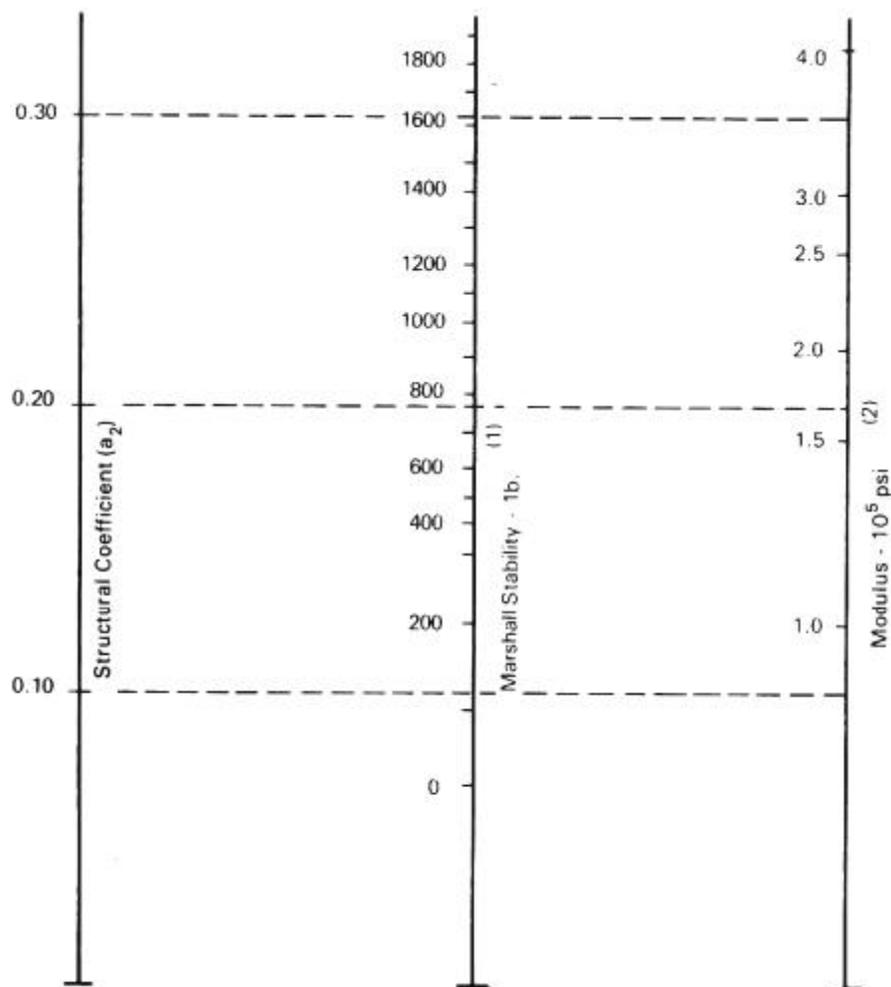


(1) Scale derived by averaging correlations from Illinois, Louisiana and Texas.

(2) Scale derived on NCHRP project (3).

**Fuente: AASHTO 1993**

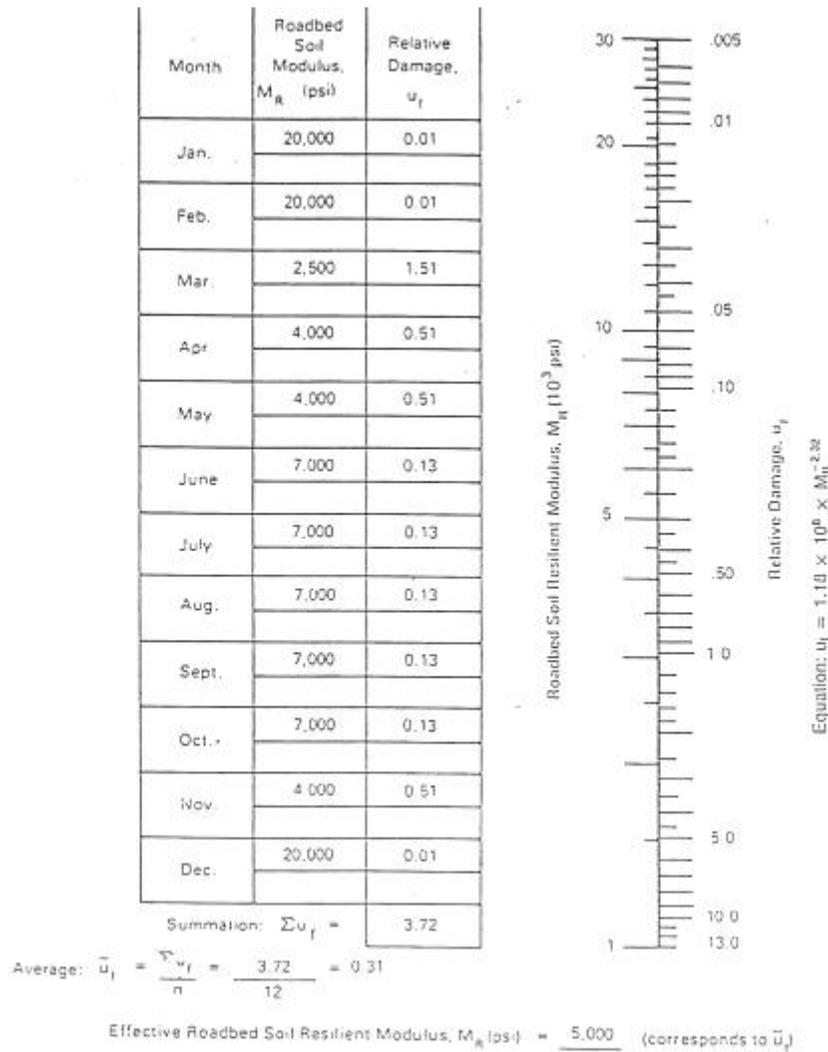
**Figura 4.6.- VARIACION DE LOS COEFICIENTES DE CAPA “a2”, EN BASES ESTABILIZADAS CON ASFALTO**



- (1) Scale derived by correlation obtained from Illinois.
- (2) Scale derived on NCHRP project (3).

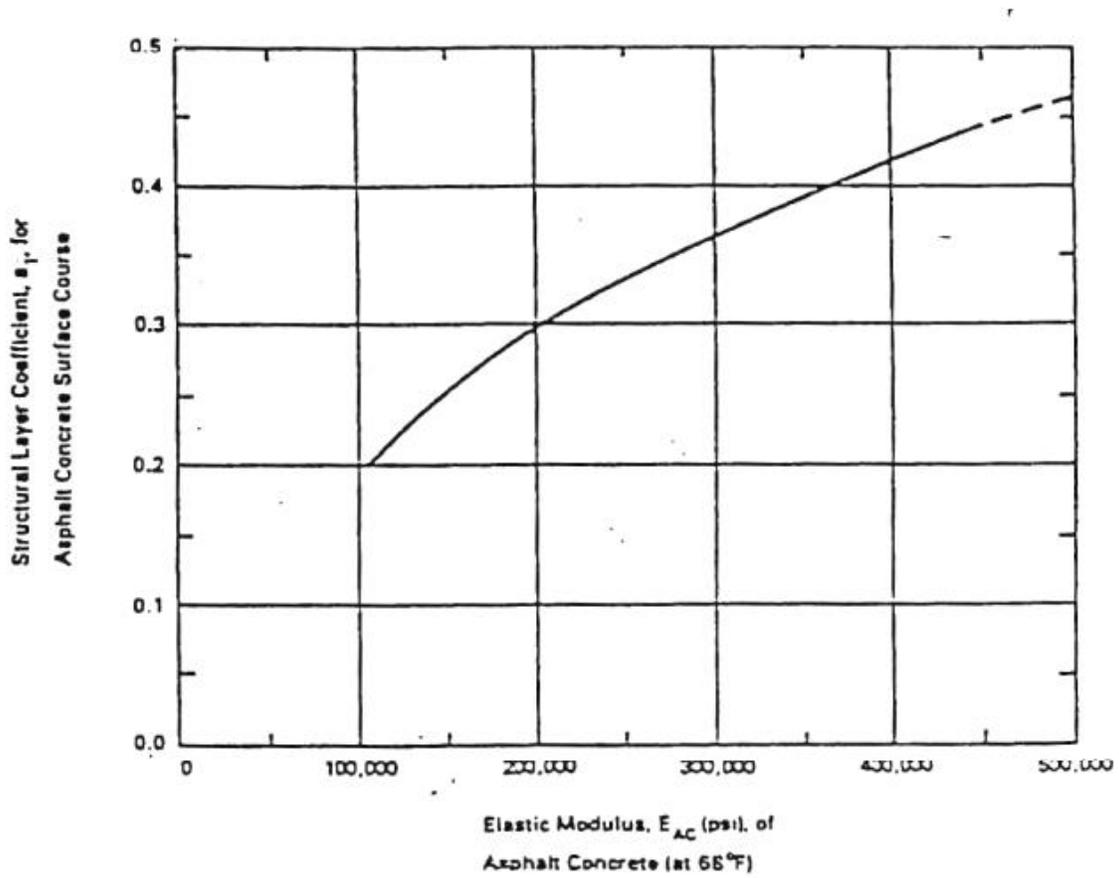
**Fuente: AASHTO 1993**

**Figura 4.7.- FORMATO PARA CALCULAR EL MÓDULO DE RESILIENCIA EFECTIVO DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.**



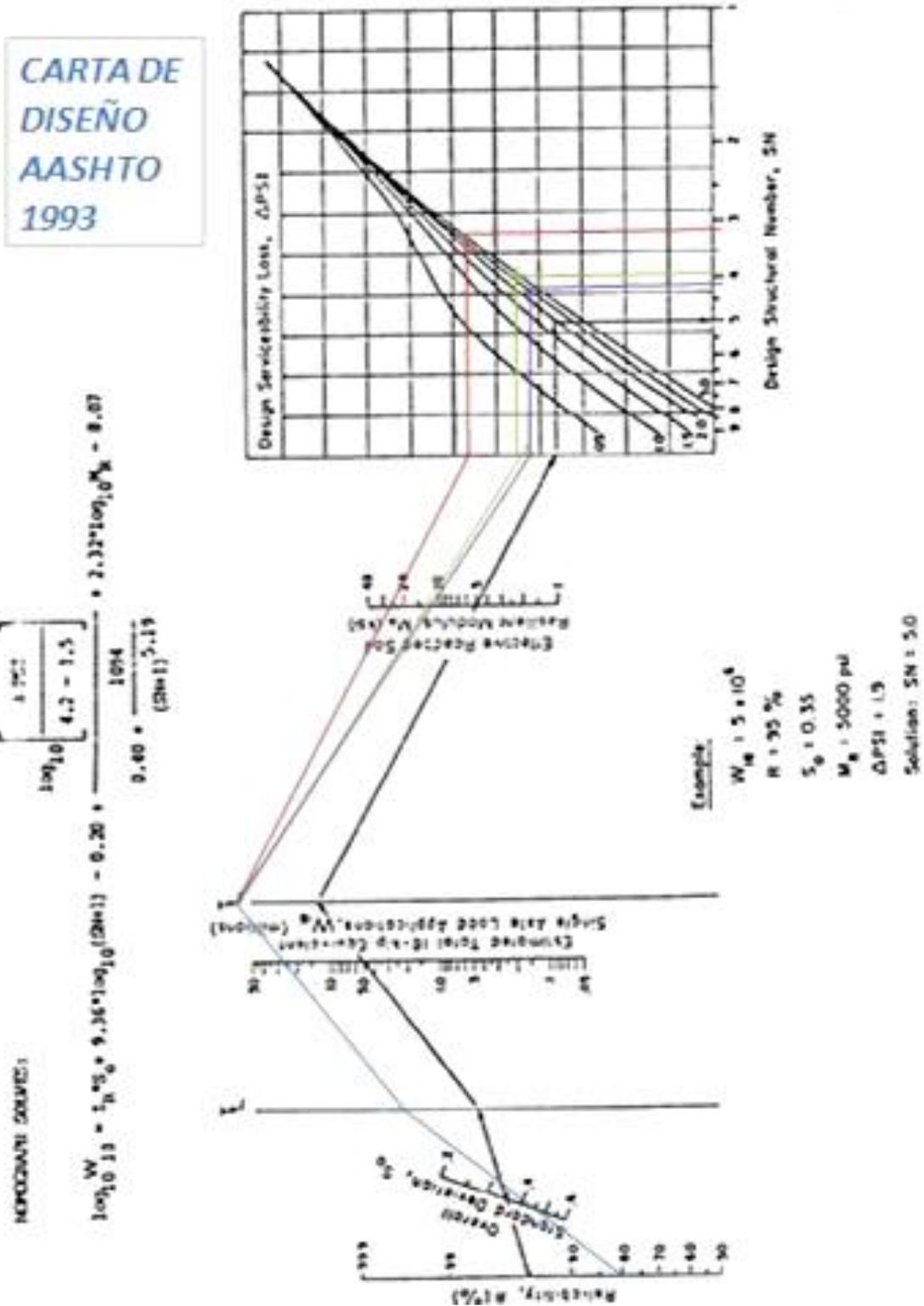
**Fuente: AASHTO 1993**

**FIGURA 4.2 GRAFICA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE CAPA "a1" EN FUNCION DEL MODULO ELASTICO DEL CONCRETO ASFALTICO**



Fuente: AASHTO 1993

Figura 4.9



Fuente: AASHTO 1993

### **2.4.3.- Método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles (versión 2008)**

El diseño mecánico-empírico de pavimentos flexibles nuevos y reconstruidos requiere un proceso iterativo de enfoque práctico por el diseñador. El diseñador debe seleccionar un diseño de ensayo y luego analizar el diseño en detalle para determinar si cumple con los criterios de desempeño establecidos por el diseñador. En el pavimento flexible las medidas consideradas de rendimiento para esta guía incluyen la deformación permanente (ahuellamiento), agrietamiento por fatiga (tanto de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo), el agrietamiento térmico, y el índice de rugosidad internacional (IRI).

Si el diseño del ensayo no cumple con los criterios de rendimiento, el diseño se debe modificar y volver a analizar hasta que el diseño cumpla con todos los criterios. Estos diseños deben atenerse a los criterios de rendimiento de un problema estructural y funcional y puede ser más considerado para otras evaluaciones, como el costo del ciclo de vida de análisis.

## CAPITULO III ANALISIS DEL METODO AASHTO 2008 EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

### 3.1.- Visión general del procedimiento de diseño

En general, el proceso iterativo de diseño de pavimentos de asfalto se ilustra en la figura:

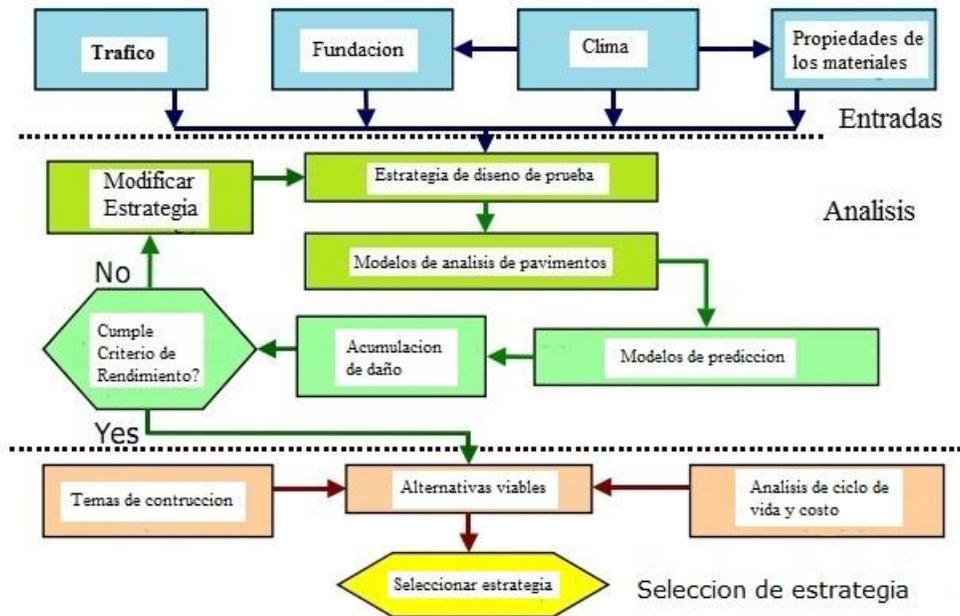


Figura 2

El término "asfalto" se refiere a pavimento nuevo, reconstruido o sistema de pavimento rehabilitado que tiene concreto asfáltico en la capa superficial. Los principales pasos en el proceso de diseño son los siguientes:

- Montar un diseño de ensayo para las condiciones específicas del sitio y definir con ayuda de la subrasante, concreto asfáltico y otras propiedades de los materiales de pavimentación, las cargas de tráfico, el clima, tipo de pavimento, diseño y construcción.
- Establecer los criterios para el desempeño aceptable del pavimento al final del periodo de diseño (es decir, los niveles aceptables de agrietamiento por fatiga, el fisuramiento térmico e IRI).

- Seleccionar el nivel deseado de fiabilidad para cada uno de los resultados aplicables indicadores (por ejemplo, seleccionar los niveles de fiabilidad de grietas, y el IRI).
- Proceso de entrada para obtener los valores mensuales de los insumos de tráfico y las variaciones estacionales climáticas necesarias en las evaluaciones de diseño para el periodo de diseño completo.
- Calcular fallas acumuladas y/o daños al final de cada período de análisis para el período de diseño.
- Predecir fallas clave (formación de grietas) al final de cada período de análisis a lo largo de la vida de diseño.
- Predecir la rugosidad (IRI), como una función de IRI inicial, fallas que se acumulan con el tiempo, y los factores de sitio al final de cada incremento de análisis.
- Evaluar el desempeño esperado del diseño del ensayo en el nivel de confianza dado.
- Si el diseño del ensayo no cumple los criterios de desempeño, modificar el diseño y repetir los pasos hasta que el diseño cumpla con los criterios.

### **3.1.1.- Niveles de datos de entrada de diseño**

Para muchos de los datos de diseño, el diseñador puede elegir entre varios (generalmente tres) niveles de calidad de los datos. Estos se indican brevemente a continuación: Nivel 1-sitio y / o material de insumos específicos para el proyecto obtenidos a través de pruebas directas o mediciones. Ejemplos de Nivel 1 de datos incluye propiedades del material obtenidas a través de pruebas de laboratorio y medir los volúmenes de tráfico existentes en la ubicación del proyecto.

Nivel 2: el uso de correlaciones para establecer o determinar los datos necesarios. Algunos ejemplos de datos del Nivel 2 incluyen el módulo resiliente de la sub-rasante o materiales no consolidado, CBR.

Nivel 3: el uso de valores por defecto nacional o regional para definir las entradas. Ejemplos de Nivel 3 de entrada incluyen el uso de las clasificaciones de suelo AASHTO

para determinar un valor típico de módulo resiliente, o el uso del tipo de carretera y un tipo de clasificación de camión para determinar el peso normalizado por eje y el tipo de distribuciones de camiones.

### **3.2.- Principios de diseño del método AASHTO 2008**

#### **3.2.1.- Información general**

El tipo y periodo de análisis se define con las siguientes entradas:

- Vida de diseño – Expectativa de vida de diseño del pavimento (años)
- Base / Mes construcción de subrasante - el mes aproximado en el que la base y el subsuelo se prevé que esté construido. Esta entrada establece el tiempo  $t=0$  para el modelo climático, la humedad del régimen dentro de las capas no consolidadas y sub-base, se supone que está en óptimas condiciones en este momento. La progresión de la humedad óptima para humedad de equilibrio comienza a partir de este momento. Si esta entrada es completamente desconocida, el diseñador debe utilizar el mes en que la mayoría de los pavimentos se construye en la zona.
- Meses de la construcción del pavimento (HMA) - Esta entrada define el tiempo  $t = 0$  para el HMA modelo material de envejecimiento y modelo térmico de formación de grietas. Si esta entrada es completamente desconocida, el diseñador puede utilizar el mes en el que la mayoría de los pavimentos se construye en la zona.
- Mes de apertura al tráfico - el mes en el que espera que el pavimento sea abierto al tráfico. Este valor define las condiciones climáticas en el momento de apertura al tráfico, que afecta a los gradientes de temperatura y humedad, así como los valores de módulos de capa, incluyendo sub-base. El análisis comienza con el mes introducido (es decir, primer día del mes). Esta entrada establece el tiempo  $t = 0$  para daños adicionales y cálculos incrementales de fallas. Si esta entrada es completamente desconocida, el diseñador debe utilizar el mes en que la mayoría de la construcción de los pavimentos se terminó en el lugar.
- Tipo de pavimento - Flexible. Esta entrada determina el método de diseño, las evaluaciones y los modelos de funcionamiento aplicables.

### **3.2.2.- Identificación y sitio del proyecto.-**

Este grupo de entradas incluye lo siguiente:

- Ubicación del proyecto.
- Identificación de proyectos - Proyecto ID, ID de sección, la dirección del tráfico

La clase funcional del pavimento con el que se está diseñando, las opciones en esta opción son las siguientes:

- Arteria principal.
- Arterias menores.
- Grandes colectoras.
- Menor o colectoras.
- Rutas locales y calles.

La ubicación del proyecto define las condiciones climáticas para el diseño del pavimento, la clase funcional de las influencias de los criterios de diseño por defecto (nivel aceptable de falla y la fiabilidad), ayuda a determinar el valor por defecto (Nivel 3) distribución de la clase de vehículo, y también ayuda en la selección de la velocidad de operación del vehículo.

### **3.2.3.- Análisis de parámetros**

#### **3.2.3.1.- IRI inicial.-**

El IRI inicial define la rugosidad del pavimento tal como fue construido. Este parámetro depende en gran medida de las especificaciones de la rugosidad del proyecto y tiene un impacto significativo en el largo plazo, calidad de marcha en el pavimento. Los valores típicos oscilan entre 50 y 100 pulg / mi.

### **3.2.3.2.- Criterios de rendimiento.-**

El diseñador puede seleccionar algunos o todos estos indicadores de desempeño y establecer criterios para evaluar un diseño y hacer modificaciones si es necesario. Los criterios de rendimiento para cada dificultad dependerán de la habilidad de diseño del individuo y su tolerancia para la cantidad de grietas en el período de diseño. Los criterios de rendimiento también dependerán del nivel de fiabilidad del diseño que, a su vez, dependerá de la clase funcional de la carretera. Por ejemplo, especificar un nivel de confianza alto consistente con un diseño de la carretera interestatal y un bajo nivel de falla permitido resultará en un diseño muy conservador.

### **3.2.3.3.- Superficie de agrietamiento por fatiga hacia abajo**

La superficie de agrietamiento por fatiga hacia abajo se manifiesta como grietas longitudinales en el borde de los caminos. Esto permite la infiltración del agua en la capa base de pavimento que puede ocasionar un fallo estructural del pavimento. El criterio de rendimiento de la superficie de agrietamiento por fatiga hacia abajo, se define como la máxima longitud permitida de agrietamiento longitudinal por kilómetro de pavimento durante el período de diseño. Los valores típicos de grietas, se encuentran en el orden de los 1000 pies por milla de pavimento.

### **3.2.3.4.- Agrietamiento por fatiga de abajo hacia arriba - Piel de cocodrilo**

El agrietamiento por fatiga de abajo hacia arriba se manifiesta en forma de piel de cocodrilo dentro de la huella del camino. Además permite la infiltración del agua en las capas del pavimento subyacente que puede ocasionar un fallo estructural del pavimento; también contribuye directamente a una pérdida de tersura. Un diseño inadecuado puede resultar en la falla prematura de los pavimentos flexibles. El criterio de desempeño se define como el área máxima de grietas cocodrilo expresado como porcentaje del área total de carril que está permitido durante el período de diseño. Los valores típicos son en el orden del 25 al 50 por ciento del área total de carril.

### **3.2.3.5.- Fisuramiento térmico**

El fisuramiento térmico aparece regularmente como grietas transversales espaciadas a través de la superficie completa del pavimento. El fisuramiento térmico es ambientalmente inducido por fuertes caídas en la temperatura del pavimento que causan la contracción térmica extrema y la fractura de la superficie de asfalto. También permite la infiltración del agua en las capas subyacentes del pavimento y pueden ocasionar un fallo estructural del pavimento. El fisuramiento térmico contribuye directamente a una pérdida de tersura; el criterio de rendimiento para el fisuramiento térmico se define como la longitud máxima de formación de grietas transversales por kilómetro de pavimento permitida durante el período de diseño. Los valores típicos son del orden de 1000 pies por milla de pavimento.

### **3.2.3.6.- Fractura por fatiga de las capas químicamente estabilizada**

El agrietamiento por fatiga en las capas subyacentes químicamente estabilizada reduce el apoyo prestado a la parte superior de las capas de pavimento. Esto acelerará la manifestación de fallas de la superficie, especialmente el agrietamiento por fatiga hacia abajo y de abajo hacia arriba en las capas de asfalto de la superficie. Esto dará lugar a una pérdida de tersura y puede conducir a un fallo prematuro del sistema de pavimento. El criterio de rendimiento se define en términos de un índice de daño. Los valores típicos de índices de daño para la formación de grietas de fatiga en capas químicamente estabilizadas, son del orden de 25 por ciento.

### **3.2.3.7.- La deformación total permanente**

La mayoría normalmente se manifiesta como surcos dentro de la huella del camino; es la acumulación de la deformación permanente en todas las capas de asfalto y no consolidadas en el sistema de pavimento. La deformación total permanente es un importante contribuyente a la pérdida de confort del pavimento. También puede crear problemas funcionales, tales como charcos de agua y el hidroplaneo del vehículo y por consiguiente problemas de manejo de vehículos durante los cambios de carril. El criterio de rendimiento se define en términos de la máxima profundidad del surco dejado en la trayectoria de la rueda. Las profundidades máximas son del orden de 0,3 a 0,5 pulgadas. Este valor límite es una función directa de la política específica que utiliza cada criterio de diseño.

### **3.2.3.8.- Rugosidad**

La adecuación funcional se cuantifica con mayor frecuencia por la rugosidad del pavimento. Caminos en mal estado no sólo conducen a la incomodidad del usuario, sino también aumentan los tiempos de los viajes y costos de operación del vehículo. La rugosidad de manera simplista se puede definir como "la variación en la elevación de la superficie que induce vibraciones en los vehículos que atraviesan. "El índice de rugosidad internacional (IRI) es una de las formas más comunes de medir la suavidad en el manejo de los pavimentos. Al igual que con la falla estructural, el criterio de desempeño para la rugosidad se define por el IRI aceptable al final de la vida de diseño. Los valores del IRI son elegidos por el diseñador y no debe excederse en el nivel de diseño de la confiabilidad. Normalmente, los valores son del rango de 150 a 250 pulg / milla.

### **3.2.4.- Tráfico**

Los datos de tráfico son uno de los elementos clave requeridos para el análisis y diseño de las estructuras de pavimentos. La opción de tráfico estándar para el diseño de pavimento flexible es especificar el espectro de la carga real de simple, doble, trídém. La segunda opción de tráfico de pavimentos flexibles es la configuración de ejes especiales. Esta opción permite el análisis del comportamiento del pavimento debido al sistema de vehículos, especial, pesada, no convencional, que están a menudo sujetos a permisos especiales. Esta es una característica muy importante de la Guía, ya que proporciona al diseñador la información sobre la cantidad de daño que podría ser causada por uno o varios pasos del vehículo especial, para la estructura del pavimento.

#### **3.2.4.1.- Información Básica.-**

- El promedio anual de tráfico de camiones diarios (TPDA) para el año base - el número total de vehículos pesados (clases de 4 a 13) en el flujo de tráfico.
- Porcentaje de camiones en la dirección del diseño (factor de distribución de dirección).
- Porcentaje de camiones en el carril de diseño (factor de carril de distribución).
- Velocidad de operación de los vehículos.

### 3.2.4.1.1- Velocidad de operación de vehículos.-

La velocidad de operación es un parámetro importante para el diseño de pavimento flexible, ya que influye directamente en la respuesta de la rigidez de las capas de concreto asfáltico en la estructura del pavimento. A medida que el tráfico se mueve a lo largo de la carretera, un gran número de rápidos pulsos de tensión se aplican a cada elemento de los materiales dentro del sistema de pavimento. Por lo general, estos pulsos de tensión duran sólo un período corto de tiempo, y la magnitud y duración dependerá de la velocidad del vehículo, el tipo, la geometría de la estructura del pavimento y la ubicación del elemento en cuestión. La Figura 3.3.6 muestra una típica estructura de pavimento y la distribución de tensiones en función de la rigidez de la capa. Capas rígidas tienden a extender las tensiones en un área más amplia. Teniendo en cuenta dos puntos elementales A y B en la capa de asfalto, la carga aplicada influye en el punto A, mientras que el punto B se encuentra fuera de la zona de influencia. A medida que la carga se mueve al lado derecho, la tensión en el punto A se incrementará y alcanzará un valor máximo cuando la carga está directamente encima del punto A y disminuirá a medida que la carga se aleja del punto A.

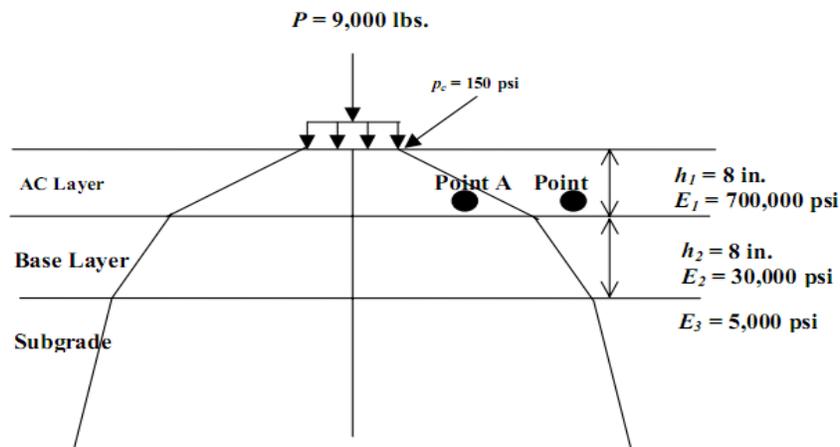


Figure 3.3.6. Stress distribution under wheel load.

Figura 3.3.6. Distribución de esfuerzos bajo una carga de rueda

**Fuente: AASHTO 2008**

En la tabla 3.3.1 se presentan algunas recomendaciones sobre la velocidad típica de operación de vehículos por tipo de servicio del camino.

**Tabla 3.3.1. Recomendaciones para la selección de la velocidad de funcionamiento del vehículo.**

Tipo de servicio del camino	Velocidad operacional (mph)	Frecuencia estimada a la profundidad media de capa - profundidad (hz)		
		Capa representante de HMA (4 – 12 in)	Capa delgada de HMA usada en la superficie (1 – 3 in)	Capa fina de HMA Brinder / Base (3 – 12 in)
Interestatal	60	15 – 40	45 – 95	10 -25
Primarias	45	10 – 30	35 – 70	15 – 20
Urbanas	15	5 – 10	10 – 25	5 – 10
Intersecciones	0.5	0.1 – 0.5	0.5 – 1.0	0.1 – 0.25

**Fuente: AASHTO 2008**

### 3.2.4.2.- Ajuste de volumen de tráfico

**3.2.4.2.1.- Los factores de ajuste mensual.-** Los factores de distribución mensual se utilizan para determinar la variación mensual de tráfico de camiones en el año base. Estos valores son simplemente la relación entre el tráfico de camiones mensuales a la TPDA. Naturalmente, el promedio de la proporción de los 12 meses del año base debe ser igual a 1,0. Si no se dispone de información, asumir una distribución uniforme (es decir, 1,0 para todos los meses para todos los tipos de vehículos).

- Para los datos de tráfico (24 horas de su recolección continua de datos), se debe determinar el total del número de camiones (en una clase determinada) para cada clase en un período de 24 horas.
- Utilizar datos representativos de todos los días recogidos en los diferentes meses dentro de un año, para determinar el promedio de tráfico diario de camiones por cada mes del año.

- Resumiendo el MAF es el tráfico medio de camiones al día para cada mes durante todo el año.
- Se calcula los factores de ajuste mensual dividiendo el promedio de tráfico diario de camiones de cada mes sumando el promedio de tráfico diario de camiones por cada mes durante todo el año y multiplicando por 12, como se indica a continuación:

$$MAF_i = \frac{AMDTT_i}{\sum_{i=1}^{12} AMDTT_i} * 12$$

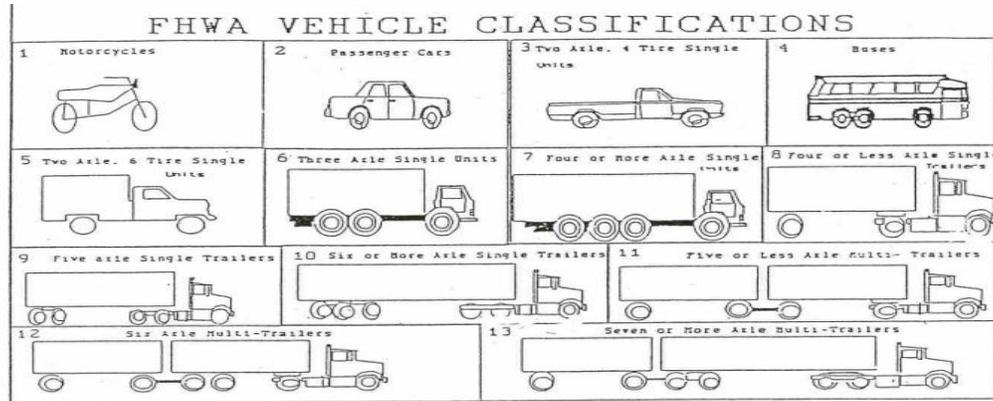
Donde:  $MAF_i$  = Factor de ajuste mensual en el mes “i”

$MADTT_i$  = Promedio mensual de tráfico de camiones diarios para el mes i

**3.2.4.2.2.- Distribución de vehículos por clase.-** La distribución de vehículos por clase representa el porcentaje de cada clase de vehículo (clases de 4 a 13) en el TPDA para el año base. La suma de los porcentajes TPDA de todas las clases de camión debe ser igual a 100. Es importante tener en cuenta que en el sitio específico (nivel 1) o los datos regionales (nivel 2) no existen datos disponibles; la clasificación de tráfico de camiones (TTC) se puede utilizar en conjunción con la clase funcional de la carretera para estimar la distribución de clases de vehículos. Cada TTC representa un flujo de tráfico con características de tráfico de camiones, y un vehículo de distribución de la clase por defecto se estableció para cada TTC con una base de datos de tráfico nacional para su uso en el nivel 3. Valores por defecto de factores de distribución de vehículos por clase (nivel 3) medidos por los datos de tráfico son LTPP, es decir se proporciona como parte de la Guía de software de diseño. El valor por defecto de distribución de vehículos por clase es elegido en base a la clase de carretera y la mejor combinación del tráfico de camiones, la clasificación (TTC) describe el flujo de tráfico que se espera en el camino dado. Los valores por defecto se obtuvieron mediante la elección de un clase funcional y la combinación de grupos de TTC (es decir, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 11 y 13) que mejor caracteriza el flujo de tráfico que se espera. Un conjunto estandarizado de los grupos que mejor describe TTC del flujo de tráfico para las clases funcionales diferentes se presentan en la tabla 2.4.5.

Cada grupo TTC representa un flujo de tráfico con características únicas del tráfico de camiones (véase tabla 2.4.4).

**Figura 3 Clasificación de vehículos**



Fuente: AASHTO 2008

**Tabla 2.4.4. Clasificación del tráfico de camiones (TTC), descripción de grupo y correspondiente distribución de vehículo (camión) por clase, valores por defecto (porcentaje) considerados en el software de la guía de diseño**

TTC Grupo	TTC Descripción	Distribución de vehículo por clase (%)										
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	Mayoría de camiones de un solo remolque en ruta (Tipo I)	1.3	8.5	2.8	0.3	7.6	74	1.2	3.4	1	0.3	
2	Mayoría de camiones de un solo remolque en ruta (Tipo II)	2.4	14.1	4.5	0.7	7.9	66.3	1.4	2.2	0	0.2	
3	Mayoría de camiones de uno o más remolques en ruta (Tipo I)	0.9	11.6	3.6	0.2	6.7	62	4.8	2.6	1	6.2	
4	Mayoría de camiones de un solo remolque en ruta (Tipo III)	2.4	22.7	5.7	1.4	8.1	55.5	1.7	2.2	0	0.4	
5	Mayoría de camiones de uno o más remolques en	0.9	14.2	3.5	0.6	6.9	54	5	2.7	1	11	

	ruta (Tipo II)										
6	Camiones pequeños o intermedia de un solo remolque en ruta (I)	2.8	31	7.3	0.8	9.3	44.8	2.3	1	0	0.3
7	Mayoría de camiones mixtos en ruta (Tipo I)	1	23.8	4.2	0.5	10.2	42.2	5.8	2.6	1	8.4
8	Mayoría de camiones con varios remolques en ruta (Tipo I)	1.7	19.3	4.6	0.9	6.7	44.8	6	2.6	2	11.8
9	Camiones pequeños o intermedia de un solo remolque en ruta (II)	2.8	34	12	1.6	9.9	36.2	1	1.8	0	0.3
10	Mayoría de camiones mixtos en ruta (Tipo II)	0.8	30.8	6.9	0.1	7.8	37.5	3.7	1.2	5	6.7
11	Grandes camiones con varios remolque en ruta (Tipo II)	1.8	24.6	7.6	0.5	5	31.3	9.8	0.8	3	15.3
12	Camiones pequeños o intermedia de un solo remolque en ruta (III)	3.9	40.8	12	1.5	12.2	25	2.7	0.6	0	1.3
13	Mayoría de camiones mixtos en ruta (Tipo III)	0.8	33.6	6.2	0.1	7.9	26	11	1.4	3	10.3
14	Mayoría de camiones livianos en ruta (Tipo I)	2.9	56.9	10	3.7	9.2	15.3	0.6	0.3	0	0.3
15	Mayoría de camiones livianos en ruta (Tipo II)	1.8	56.5	8.5	1.8	6.2	14.1	5.4	0	0	5.7
16	Mayoría de camiones livianos con varios remolques en ruta	1.3	48.4	11	1.9	6.7	13.4	4.3	0.5	0	12.6
17	Ruta de buses	36	14.6	13	0.5	14.6	17.8	0.5	0.8	0	1.5

Fuente: AASHTO 2008

**Tabla 2.4.5. Orientaciones propuestas para la selección de los grupos apropiados (TTC) para las diferentes clasificaciones funcionales de la carretera.**

Descripciones de la clasificación funcional de la carretera	Tráfico de camiones aplicable según su clasificación por número de grupo
Arterias principales - Rutas interestatales y de defensa	1,2,3,4,5,8,11,13
Arterias principales - Rutas dentro del estado, incluyendo autopistas y vías rápidas	1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,14,16
Arterias menores	4,6,8,9,10,11,12,15,16,17
Colectores principales	6,9,12,14,15,17
Colectores menores	9,12,14,17
Rutas locales y calles	9,12,14,17

Fuente: AASHTO 2008

**Tabla 2.4.6. Definiciones y descripciones de los grupos de TTC.**

Buses en flujo de tráfico	Los productos básicos transportados por tipo de camión		TTC Grupo N°.
	Multi – Remolques	Un solo Remolque y unidades simples	
Bajo a ninguno (<2%)	Cantidad relativamente alta de camiones multi - remolque (>10%)	Predominio de camiones con un solo remolque	5
		Alto porcentaje de camiones con un solo remolque , pero algunos camiones sin remolque	8
		El tráfico de camiones se mezcla con un porcentaje más alto de	11

		camiones con un solo remolque.	
		El tráfico de camiones se mezcla con unos porcentajes iguales de camiones solos y camiones con un solo remolque.	13
		Predominio de camiones solos	16
	Moderada cantidad de camiones multi - remolque (2-10%)	Predominio de camiones con un solo remolque.	3
		El tráfico de camiones se mezcla con un porcentaje más alto de camiones con un solo remolque.	7
		El tráfico de camiones se mezcla con unos porcentajes iguales de camiones solos y camiones de un solo remolque.	10
		Predominio de camiones solos	15
De baja a moderada (>2%)	Bajo a ninguno (<2%)	Predominio de camiones con un solo remolque	1
		Predominio de camiones con un solo	2

		remolque, pero con un bajo porcentaje de camiones solos	
		Predominio de camiones con un solo remolque con una baja a moderada cantidad de camiones solos	4
		El tráfico de camiones se mezcla con un porcentaje más alto de camiones con un solo remolque.	6
		El tráfico de camiones se mezcla con unos porcentajes iguales de camiones solos y de camiones con un solo remolque.	9
		El tráfico de camiones se mezcla con un mayor porcentaje de camiones solos	12
		Predominio de camiones solos	14
Ruta principal de buses (>25%)	Bajo a ninguno (<2%)	El tráfico de camiones se mezcla con igualdad de camiones solos y de camiones con un solo remolque	17

Fuente: AASHTO 2008

Los diseñadores deben escoger el conjunto predeterminado de clase de distribución de vehículos para el TTC que más describe el flujo de tráfico. Hay que señalar que los datos de tráfico en el lugar, regionales o en todo el estado debe empezar años antes del inicio del diseño para asegurar que una cantidad adecuada de los datos es utilizadas en el análisis. Esto tal vez es poco práctico, por lo que para muchos proyectos, una agencia puede optar por utilizar una combinación de datos en concreto y regionales del sitio para reducir el tiempo necesario para recoger los datos necesarios. El diseño de software permite a los diseñadores introducir directamente en la clasificación de vehículos los factores de distribución (niveles 1 a 3) o la importación de un archivo ya preparado para el nivel 3.

**3.2.4.2.3.- Distribución de tráfico de camiones por hora.-** Los factores de distribución horaria (HDF) representan el porcentaje de la TPDA dentro de cada hora del día. Las entradas en los diferentes niveles son los siguientes:

- Nivel 1 - un sitio-o distribución específica de determinado segmento de AVC, WIM, o un vehículo datos de recuento.
- Nivel 2 - a / a nivel estatal la distribución regional determina a partir de AVC, WIM, o el recuento de vehículos de datos.
- Nivel 3 - los factores que determina a partir de una base de datos nacional o la experiencia local

Para el Nivel 1 a 3 entradas, HDF puede ser calculado usando los datos de tráfico de camiones medido ininterrumpidamente durante un período de 24 horas de tiempo. Los datos horarios se utilizan para determinar el porcentaje del total de camiones dentro de cada hora de la siguiente manera:

- Revisar los datos de AVC y excluir todas las muestras de tránsito con más o menos de 24 horas de datos.
- Determinar el número total de camiones que pasan dentro de cada hora de las 24 horas del tráfico de la muestra.
- Dividir el número total de camiones que pasan dentro de cada hora por el número total de camiones que pasan durante las 24 horas de toda la muestra y multiplicar por 100.

La suma del porcentaje diario de tráfico de camiones por incremento de tiempo debe sumar el 100 por ciento. El valor predeterminado HDF se proporciona en la Guía de software de diseño calculado a partir del tráfico LTPP base de datos y se recomienda como nivel 3. En la tabla 2.4.7 se muestra un resumen de valores HDF en el software de la guía de diseño.

**Tabla 2.4.7. Valores por defecto de la distribución del tráfico de camiones por hora basados en datos de tráfico LTPP.**

Periodo de tiempo	Distribucion %	Periodo de tiempo	Distribucion %
12:00 a.m. - 1:00 a.m.	2.3	12:00 p.m. - 1:00 p.m.	5.9
1:00 a.m. - 2:00 a.m.	2.3	1:00 p.m. - 2:00 p.m.	5.9
2:00 a.m. - 3:00 a.m.	2.3	2:00 p.m. - 3:00 p.m.	5.9
3:00 a.m. - 4:00 a.m.	2.3	3:00 p.m. - 4:00 p.m.	5.9
4:00 a.m. - 5:00 a.m.	2.3	4:00 p.m. - 5:00 p.m.	4.6
5:00 a.m. - 6:00 a.m.	2.3	5:00 p.m. - 6:00 p.m.	4.6
6:00 a.m. - 7:00 a.m.	5	6:00 p.m. - 7:00 p.m.	4.6
7:00 a.m. - 8:00 a.m.	5	7:00 p.m. - 8:00 p.m.	4.6
8:00 a.m. - 9:00 a.m.	5	8:00 p.m. - 9:00 p.m.	3.1
9:00 a.m. - 10:00 a.m.	5	9:00 p.m. - 10:00 p.m.	3.1
10:00 a.m. - 11:00 a.m.	5.9	10:00 p.m. - 11:00 p.m.	3.1
11:00 a.m. - 12:00 p.m.	5.9	11:00 p.m. - 12:00 a.m.	3.1

**Fuente: AASHTO 2008**

**3.2.4.2.4.- Factores de crecimiento del tráfico.-** La función de crecimiento del tráfico permite el crecimiento o la decadencia en el tráfico de camiones a través del tiempo (previsión de tráfico de camiones o retrospectiva). Tres funciones están disponibles para estimar en el futuro los volúmenes de tráfico de camiones:

- No hay crecimiento.
- Crecimiento lineal.
- Crecimiento compuesto

Diferentes funciones de crecimiento pueden ser utilizados para diferentes clases funcionales. Sobre la base de la función elegida, la fecha de apertura de la carretera al tráfico (excluida la construcción), y la vida de diseño (que se examinan en la categoría básica de entrada de información), el tráfico se proyecta hacia el futuro.

**3.2.4.3.-Factores de distribución de carga por eje.-** Los factores de distribución de carga por eje, simplemente representan el porcentaje de total de aplicaciones del eje dentro de cada intervalo de carga para un tipo específico de eje y clase de vehículo (clases de 4 a 13). Estos datos deben ser proporcionados por cada mes para cada clase de vehículo. La definición de los intervalos de carga para cada tipo de eje se proporciona a continuación:

- Ejes Individual - 3.000 libras a 41.000 libras a 1.000 libras intervalos.
- Ejes tándem - 6.000 libras a 82.000 libras a 2.000 libras intervalos.
- Trídem y ejes Quad - £ 12.000 a £ 102.000 en 3000 intervalos de libras.

La distribución de la carga por eje o espectros normalizados sólo se puede determinar a partir de datos WIM. Por lo tanto, el nivel de entrada depende de la fuente de datos (sitio, regional o nacional) para este procedimiento de diseño, los espectros de carga se han normalizado sobre una base anual.

**3.2.4.4.- Entradas Generales de Tráfico.-** La mayoría de las entradas en esta categoría se define con la configuración de carga por eje y detalles de carga para el cálculo de las respuestas del pavimento. Las excepciones son el "número de tipos de ejes de camiones por clase" y "distancia entre ejes" de los insumos que se utilizan en los cálculos de tráfico.

**3.2.4.4.1.- Distancia media de la rueda.-** Es la distancia desde el borde exterior de la rueda a la marca en el pavimento. Este aporte es muy importante en la informática, tanto para daños por fatiga y grietas JPCP predicciones CRCP pero no se utiliza para el análisis de pavimento flexible. Existen tres tipos de niveles de datos:

- Nivel 1 - el valor determinado a través de mediciones directas en el sitio específico de segmentos (no aplicable a los nuevos alineamientos).
- Nivel 2 - un valor promedio de la región / estado determina a partir de mediciones en caminos con características de tráfico similares y las condiciones del sitio (por

ejemplo, la clase funcional, tipo de pavimento, nivel de servicio y así sucesivamente).

- Nivel 3 - El valor promedio nacional o estimaciones basadas en la experiencia local.

Un dato por defecto (Nivel 3) la distancia media de la rueda es 18 pulgadas y se ofrece en el software, esto es recomendable si la información más exacta no está disponible.

**3.2.4.4.2.- Desviación estándar del paso del tráfico.-** Influye en el número de aplicaciones de carga por eje en un punto de partida para la predicción de la falla y el rendimiento; este parámetro afecta a la predicción de la fatiga y la deformación permanente en el sistema de pavimento. A pesar de que afecta directamente a la progresión del daño por fatiga y ahuellamiento, un enfoque ligeramente diferente se utiliza para cada peligro. Estimación de daños por fatiga se basa en la Ley de Miner, que establece que el daño está dado por la siguiente relación:

$$D = \sum_{i=1}^T \frac{n_i}{N_i}$$

Donde: D = daño.

T = número total de períodos.

$n_i$  = tráfico real para el período i

$N_i$  = tráfico = permitido en las condiciones imperantes en el periodo i.

Los diferentes niveles para el tráfico son: Nivel 1, nivel 2, nivel 3 ya mencionados anteriormente. Un dato por defecto (Nivel 3) significa que el tráfico de camiones deambula por la desviación estándar de 10 pulgadas; esto se ofrece en la Guía de diseño de software.

**3.2.4.4.3.- Diseño ancho del carril.-** Esta es la distancia entre las marcas de los carriles a cada lado del carril de diseño. Se utiliza principalmente para el diseño de pavimento rígido y tiene poco efecto en los análisis de pavimento flexible; el valor por defecto para los carriles de ancho estándar es de 12 pies.

**3.2.4.4.4.- Número de tipos de eje por clase de camiones.-** Esta entrada representa el número medio de ejes para cada clase de vehículo (clase 4 a 13) para cada tipo de ejes (tándem único, trídem y quad). Los diferentes niveles de datos son:

- Nivel 1 - los valores determinados por el análisis directo de los datos de tráfico del sitio-específico (AVC, WIM, o una densidad de tráfico).
- Nivel 2 - los valores determinados por el análisis directo de los datos de tráfico regional / estatal (AVC, WIM, o una densidad de tráfico).
- Nivel 3 - los valores por defecto basados en el análisis de bases de datos nacionales, tales como las bases de datos LTPP.

El dato por defecto (Nivel 3) de las estimaciones del número de tipos de eje por clase de camiones previsto en la Guía de diseño de software y se estima a partir de datos LTPP se presentan en la tabla 2.4.11.

**Tabla 2.4.11. Sugiere valores por defecto para el número promedio de ejes simples o tándem, y los ejes trídem por clase de camión.**

Clasificación de camiones	Número de ejes simples por camión	Número de ejes tándem por camión	Número de ejes trídem por camión	Número de ejes quad por camión
4	1.62	0.39	0	0
5	2	0	0	0
6	1.02	0.99	0	0
7	1	0.26	0.83	0
8	2.38	0.67	0	0
9	1.13	1.93	0	0
10	1.19	1.09	0.89	0
11	4.29	0.26	0.06	0
12	3.52	1.14	0.06	0
13	2.15	2.13	0.35	0

Nota: El número de ejes de quad por camión es de 0,00, porque había muy pocos contados en la base de datos de tráfico LTPP. **Fuente: AASHTO 2008**

**3.2.4.4.5.- Configuración del eje.-** Una serie de datos son necesarios para describir los detalles de la carga de los neumáticos y el eje para su uso en el módulo de la respuesta del pavimento. Los valores típicos son para cada uno de los siguientes elementos; sin embargo, los valores del sitio específico pueden ser utilizados, si la información está disponible.

- Ancho de eje promedio - la distancia entre dos bordes exteriores de un eje. Para camiones se puede suponer 8,5 pies para el ancho del eje.
- Separación de los neumáticos dobles - la distancia entre los centros de un neumático dual. El espacio de neumáticos dual para los camiones es de 12 pulgadas.
- Presión de los Neumáticos - la presión de inflado en caliente o la presión de contacto de un neumático o una llanta dual. Para los camiones pesados, la presión típica de inflación en caliente es de 120 psi.
- Separación de los ejes - la distancia entre los ejes consecutivos de un tándem, trídem o quad. La distancia media entre ejes es de 51,6 pulgadas tándem y de 49,2 pulgadas en el trídem.

**3.2.4.4.6.- Distancia entre ejes.-** Esta información es utilizada principalmente para el diseño de pavimento rígido y tiene poco efecto sobre el análisis de pavimento flexible. Una serie de datos son necesarios para describir la distancia entre ejes de los vehículos para su uso en las respuestas del pavimento en computación. Estos datos pueden ser obtenidos directamente de las bases de datos del fabricante o medidos directamente en el campo.

La distancia entre ejes media (metros) - a corto, mediano o largo plazo. Los valores recomendados son 12, 15 y 18 pies de distancia entre ejes de corto, mediano y largo plazo, respectivamente.

El porcentaje de los camiones en la clase de 8 a 13 con la distancia entre ejes de corto, mediano y largo plazo - una distribución uniforme del uso (por ejemplo, 33, 33 y 34 por ciento para los ejes corto, mediano y largo plazo, respectivamente), a menos que una información más exacta esté disponible.

**3.2.4.4.7.- Procesamiento de entrada.-** Las entradas de tráfico son procesadas para producir la siguiente "entrada de procesado" para cada mes durante el período completo de diseño:

- Número de ejes individuales en cada categoría de carga.
- Número de ejes tandem en cada categoría de carga.
- Número de ejes trídem en cada categoría de carga.
- Número de ejes quad en cada categoría de carga.
- Número de camiones (Clase 8 y arriba) en cada categoría de carga (para el agrietamiento).

Los factores de distribución de tráfico por hora se aplican a la entrada de tráfico procesado (la densidad de tráfico por tipo de eje para cada mes del período de diseño) para obtener tráfico por hora en el momento del cálculo de daño para cada peligro.

### **3.2.5.- Clima**

Las condiciones ambientales tienen un efecto significativo sobre el desempeño de pavimentos flexibles. La interacción de los factores climáticos con los materiales del pavimento y la carga es compleja. Factores tales como la precipitación, temperatura, ciclos hielo-deshielo, y la profundidad de agua afectan a la temperatura del pavimento, el subsuelo y el contenido de humedad, lo que, a su vez, afecta directamente la capacidad de carga de las capas y el rendimiento final del pavimento.

**3.2.5.1.- Entradas climáticas.-** La información relacionada con el clima requiere lo siguiente para realizar el diseño de pavimento flexible:

- La temperatura del aire cada hora durante el período de diseño.
- Precipitación por hora durante el período de diseño.
- Velocidad del viento por horas durante el período de diseño.
- Porcentaje de luz solar cada hora durante el período de diseño.
- Valores a cada hora de humedad relativa ambiental.
- El agua estacional o permanente en el sitio del proyecto.

Tener en cuenta que al menos 24 meses de los datos de la estación meteorológica son necesarios para que el software de la guía de diseño pueda dar una solución razonable.

**3.2.5.2.- Procesamiento de entrada.-** Las entradas climáticas se combinan con las propiedades del material de pavimento, espesores de capa, y el drenaje; la siguiente información se utiliza en el análisis de diseño del pavimento flexible:

- Perfiles de distribución de temperatura por hora a través de las capas de asfalto.
- Perfiles de cada hora de temperatura y humedad (incluyendo los cálculos de la profundidad de heladas) a través de capas de otros pavimentos.
- Informe mensual o bimensual (durante los períodos de congelados o recientemente) de las predicciones de capa de módulos para la base de asfalto no consolidada, / sub-base, y las capas de sub-base.
- Los valores de índice de congelación anual.
- El promedio anual de días de lluvia.
- Número de ciclos de congelación y descongelación.

### **3.2.6.- Estructura del pavimento**

Los valores de entrada para las propiedades de la estructura de pavimento se organizan en las siguientes categorías:

- Drenaje y características de la superficie.
- Las propiedades de capa.
- La posible falla.

#### **3.2.6.1.- Drenaje y características de la superficie.**

Estas son las propiedades generales de estructura de pavimento para el diseño, y la información requerida en esta categoría incluye lo siguiente:

- Capa superficial de onda corta del pavimento y su capacidad de absorción.
- El potencial de infiltración.
- Pendiente del pavimento.
- Longitud de la vía de drenaje.

**3.2.6.1.1- Absorción de onda corta del pavimento.-** La capacidad de absorción de onda corta de una superficie de pavimento depende de la composición del pavimento, el color y textura. La capacidad de absorción de onda corta es la relación entre la cantidad de energía

solar absorbida por la superficie del pavimento y la energía total que fue expuesta a la superficie, lo que naturalmente afecta el régimen de temperatura dentro de la estructura del pavimento y a la respuesta estructural asociada. Esta entrada va de 0 a 1. En general, mientras más ligero y más reflexiva es la superficie, menor es la capacidad de absorción de onda corta. Para el Nivel 1 de entrada, este valor debe ser determinado a través de pruebas directas. El rango de valores típicos de 0,8 a 0,9 para el curtido de asfalto y de 0,9 a 0,98 para el asfalto fresco. El valor por defecto recomendado es de 0,85 para el diseño de un pavimento nuevo.

**3.2.6.1.2.- Infiltración.-** Esta entrada cuantifica la cantidad de agua que se infiltra en la estructura del pavimento, la calibración de los modelos de falla del pavimento flexible supone que no se produce la infiltración de la humedad durante el período de diseño. Así, el procedimiento de diseño de pavimento flexible no permite al diseñador elegir cualquier nivel de infiltración en este momento.

**3.2.6.2.- Las propiedades de capa.-** El procedimiento de diseño de pavimento flexible permite una gran variedad de asfalto, base, propiedades de material sub-base y espesores de capa. Por ejemplo, una estructura de pavimento flexible podría consistir en una o más capas de la superficie de concreto asfáltico, una base de asfalto tratado, una sub-base agregada, sub-base compactada, la subrasante natural y la base. La estructura del pavimento original definida por el usuario por lo general tiene de 4 a 6 capas. Sin embargo, el software de la guía de diseño podrá subdividir la estructura del pavimento en 12 a 15 subcapas para el modelado de la temperatura y las variaciones de la humedad. El software de la guía de diseño realiza las subcapas internamente en función del tipo de material, espesor de la capa y la ubicación de la capa dentro de la estructura del pavimento. El software de la guía de diseño puede analizar un máximo de 19 capas. Sin embargo, debido a las subcapas automáticas de ciertas capas, se recomienda un máximo de 10 capas.

Las siguientes restricciones se deben satisfacer como mínimo:

- La capa superficial en el diseño de pavimento flexible es siempre una capa de concreto asfáltico.

- Asfalto de gran profundidad (concreto asfáltico en la subrasante) es la estructura mínima que puede ser analizada.
- Sólo una capa granular se puede colocar entre dos capas estabilizadas; las dos últimas capas de la estructura del pavimento deben ser capas consolidadas.

### **3.2.6.3.- Entradas generales de propiedades de capa**

- Espesor de capa.
- Relación de Poisson
- La conductividad térmica - la cantidad de calor que fluye normalmente a través de una superficie de unidad de área por unidad de tiempo del gradiente de temperatura normal a la superficie. El valor típico para el asfalto-estabilizado, material base es de 0,67 BTU/hr-ft- ° F.
- Capacidad de calor - el calor necesario para elevar la temperatura de una unidad de masa de material de una unidad de temperatura. Un valor típico para el asfalto, base estabilizada es 0,23 BTU/lb- ° F.
- Unidad de peso total - rango típico de alta densidad graduada en caliente de asfalto de mezcla es 134 a 148 lb/ft<sup>3</sup> (PCF).

**3.2.6.4.- Capas químicamente estabilizadas.-** Los siguientes datos son necesarios para definir una capa químicamente estabilizada:

- Módulo de diseño resiliente máximo de diseño.
- Módulo resiliente mínimo (después de daño por fatiga completamente propagada en la capa).
- Módulo de ruptura.
- Unidad de peso del material.
- Relación de Poisson.
- La conductividad térmica - la cantidad de calor que fluye normalmente a través de una superficie de unidad de área por unidad de tiempo del gradiente de temperatura normal a la superficie. El valor típico para la base química o químicamente estabilizada es de 1,0 BTU/hr-ft- ° F.

- Capacidad de calor - el calor necesario para elevar la temperatura de una unidad de masa de material de una unidad de temperatura. Un valor típico para la base es químicamente estabilizada 0,28 BTU/lb- ° F.

**3.2.6.5.- Sin consolidar la base / sub-base / subrasante.-** Las capas base sin consolidar de espesor superior a 6 en la sub-base y la capa más gruesa no consolidada en ocho pulgadas se divide en subcapas internamente dentro del software de la Guía para su análisis. Para la capa base (capa consolidados primero), la primera sub-capa de 2 pulgadas es siempre el espesor remanente de la capa de base y las capas sub-base que son sub-capas se dividen en sub-capas con un espesor mínimo de 4 pulgadas para compactar sub-bases naturales; el mínimo espesor de la subcapa es 12 pulgadas en una estructura de pavimento de sub-capas sólo a una profundidad de 8 pies. Cualquier resto de sub-base se considera como una capa infinita. Si el lecho de roca está presente, la subrasante restante es tratada como una capa más allá de 8 pies, la roca no es sub-nivel y siempre se trata como una capa infinita.

Los principales insumos requeridos para la base / sub-base no consolidada y las capas de sub-base son:

- Espesor de capa (sólo para capas de base y sub-base) - para capas de sub-base con cal estabilizada (no modificada) o subsuelos compactados deben tenerse en cuenta por separado la sub-base natural, que puede definirse como una capa estructural.
- Módulo resiliente de capa.- Para el Nivel 1 de entrada - especificar el esfuerzo no lineal dependiente del módulo resiliente de parámetros K1, K2 y K3. Cabe señalar que las entradas de nivel 1 exigen el uso del código de elementos finitos no lineales para la predicción de rendimiento; en la actualidad sólo se recomienda para ser usado con fines de investigación y análisis.

Para el nivel 2 - el valor del módulo resiliente elástico lineal directo, como alternativa, del valor del módulo elástico se puede determinar a partir de relaciones empíricas en términos de propiedades de índice.

Para el nivel 3 de entrada - especificar un módulo por defecto resistente en función de la AASHTO o clasificación unificada de suelos.

- Relación de Poisson.

- Coeficiente de presión lateral de tierra,  $K_o$  - un valor típico para esta entrada es de 0,5 para materiales naturales o no compactados.

**3.2.6.6.- Análisis de la temporada.-** El diseñador tiene la opción de incluir o no incluir el análisis de la temporada para materiales no consolidados, base y el suelo. Las siguientes opciones están disponibles para la temporada de análisis para los niveles 1 y 2 de entradas de materiales no consolidados:

1. Introducir un módulo resiliente ( $M_r$ ) de diseño representativo en la humedad óptima contenida (ya sea  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$  de entrada del nivel 1 o el  $M_r$  de los niveles 2 y 3) o de otro tipo de parámetros permitidos del suelo fuerza / rigidez (CBR, el valor-R, AASHTO estructurales coeficiente de capa) y utilizar el módulo de EICM incrustado en el Guía de diseño de software para estimar las variaciones estacionales basados en el cambio, la humedad y los perfiles de temperatura a través de la estructura del pavimento. Los otros insumos para EICM incluyen el índice de plasticidad, el porcentaje que pasa los tamices N ° 4 y N ° 200, y el tamaño de grano efectivo correspondiente al pasar del 60 por ciento en peso (D60) de la capa en cuestión. El uso de estos insumos, EICM estima la unidad de peso, la densidad de sólidos, la conductividad hidráulica saturada de la capa de pavimento, el contenido óptimo de humedad gravimétrica, grado de saturación de la capa, y el agua en el suelo, parámetros de la curva característica. Estas cantidades calculadas pueden ser sustituidas con entradas directas.
2. En lugar de usar la EICM, los módulos de temporada (ya sea  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$  para el nivel 1 de entrada o el  $M_r$  de los niveles 2 y 3), CBR, el valor R, u otros valores pueden introducirse directamente. Para la entrada directa, 12 meses de laboratorio estimado para valores de  $M_r$  (o de otro tipo pruebas admisibles del suelo) son obligatorios.
3. La variación estacional de la rigidez de los materiales no consolidados puede ser ignorada. En este caso, un valor de diseño de módulo representante (o el valor de prueba de otro tipo) es necesaria.

**3.2.6.7.- Roca de fondo.-** La presencia de roca dentro de 10 pies de la superficie del pavimento influye en la estructura de respuesta de las capas de pavimento. Las entradas para esta capa son las siguientes:

- Espesor de la capa (infinito si se trata de la última capa).
- Peso de la unidad.
- El coeficiente de Poisson.
- Módulo de capa.

**3.2.6.8.- La posible falla.-** Estas propiedades adicionales son necesarias para los modelos de predicción de rugosidad (IRI). Las dos propiedades que se requieren son:

- Grietas en bloque, que se define como un porcentaje del área total de carril.
- Sellado, grietas longitudinales fuera del recorrido de la rueda, que se define en términos de pies por milla.

### **3.3.- Enfoque general del procedimiento de diseño AASHTO 2008 en pavimentos flexibles**

En esta sección se presenta una descripción detallada de la metodología de predicción de rendimiento general para los pavimentos flexibles nuevos y reconstruidos. El término "pavimento flexible" se refiere aquí a cualquier sistema nuevo, el pavimento reconstruido o rehabilitado que tiene una mezcla de concreto asfáltico de la superficie. La metodología utilizada en el diseño se basa en un enfoque mecánico-empírico para predecir una variedad de tipos de falla:

- Fractura por fatiga del asfalto (de arriba abajo y de abajo hacia arriba).
- Deformación permanente (capa de HMA, la capa no consolidada, sub-base, en total).
- HMA térmica fractura (ambientales inducidos).
- Químicamente estabilizada la carga asociada fractura por fatiga.

Mientras que la Guía de Diseño se refiere a la gran mayoría de los tipos comunes de falla encontrados en la superficie de pavimentos con asfalto, es importante reconocer que no todas las cuestiones importantes de durabilidad del material (por ejemplo, sensibilidad a la humedad, extracción, etc.) son directamente considerados en el proceso de diseño. Por lo tanto, el diseñador todavía tiene que apoyarse en la tecnología actual y especificaciones de

los materiales para hacer frente a los posibles tipos de falla que no están directamente consideradas en la Guía. Las predicciones de falla desarrolladas a partir del enfoque mecanicista-empírico también están vinculadas a las estimaciones del IRI (índice internacional de rugosidad) como criterio de desempeño funcional (junto con las predicciones de peligro concreto) que se pueden emplear en el proceso de diseño.

### **3.3.1.- Parámetros de diseño de prueba**

Una amplia variedad de tipos de pavimento flexible pueden ser diseñados utilizando los procedimientos de Guía. Los tipos específicos de sistemas de pavimento flexible que se puede analizar son: (1) convencionales secciones flexibles, que consiste en la superficie HMA relativamente delgadas y gruesas capas de agregado base / sub-base, (2) "profunda fuerza" tramos de asfalto con gruesas capas de mezclas asfálticas, (3) de profundidad completa las secciones HMA, donde se coloca la capa de asfalto directamente en la sub-base, y (4) "semi-rígida" sistemas que tienen una químicamente estabilizada (puzolánico) de la capa. Primero, el diseñador debe seleccionar una estructura de pavimento de prueba inicial de orientación y el diseño utilizando siempre las "Reglas de Simulación", el diseñador debe identificar la sección transversal del pavimento y especificar los tipos de material de capa y espesores de la sección de pavimento inicial para ser analizada.

Seguidamente, el diseñador debe decidir si un análisis de la temporada es necesario, si un análisis de la temporada no está seleccionada, todas las capas no HMA se supone que tienen valores constantes de la IE y  $\mu_i$  (módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson) en todo el período de análisis completo. Aunque los efectos de las variaciones estacionales en la temperatura y el envejecimiento de la rigidez de los materiales de concreto asfáltico seguirá siendo considerado, incluso si la opción de análisis de la temporada no está seleccionada. Las siguientes opciones están disponibles para un análisis de la temporada:

- Predicciones EICM.
- Valores mensuales de la temporada.

Si la opción EICM es seleccionada, el programa genera internamente los factores de ajuste del medio ambiente para los valores de módulo resiliente introducidos por el usuario para calcular la variación estacional de material en intervalos de un mes o bimensual. Intervalos de un mes se utilizan durante las heladas no las estaciones. Si las heladas se prevé en el

lugar del pavimento, el período de análisis se reduce a dos semanas para tener en cuenta con mayor precisión los efectos de la rigidez de las heladas y el debilitamiento perjudicial durante el período de recuperación de deshielo. Para la opción de valores mensuales de la temporada, el diseñador debe entrar en el módulo y los valores de humedad de cada mes durante todo el año. Los valores del módulo de entrada se utilizan directamente en el modelo de respuesta del pavimento. El contenido de humedad es necesario para el modelo de la deformación permanente en capas no consolidadas. Los valores mensuales introducidos por el usuario se repiten para cada año en todo el período de análisis.

La siguiente decisión importante es la selección de los criterios de diseño de rendimiento para cada tipo de falla. La información específica requerida por los criterios de diseño de rendimiento depende de si un análisis determinista o fiabilidad del diseño ha sido seleccionado. En un análisis determinista, sólo dos piezas de información son necesarios para el análisis de pavimento: el valor de diseño para limitar la falla (o IRI), y la vida de diseño. A criterio de desempeño, se expresaría por ejemplo como: "el diseño no debe exceder un nivel de HMA ahuellamiento de 0,4 pulgadas en un período de 25 años."

En contraste con el análisis determinista, el enfoque de confiabilidad requiere de tres piezas de información: el valor de diseño para limitar la angustia (o IRI), la vida de diseño, y al nivel deseado de fiabilidad. A criterio de desempeño, pues, se expresa por ejemplo, como el diseño "debe tener un 90% de probabilidad de no superar un nivel de 0,4 ahuellamiento HMA pulgadas dentro de un período de 25 años. "

### **3.3.2.- Modelos de respuesta del pavimento**

#### **3.3.2.1.- Modelos de análisis**

El propósito del modelo de respuesta del pavimento consiste en determinar la respuesta estructural del sistema de pavimento debido a las cargas de tráfico y las influencias ambientales. Esta influencia puede ser directa (por ejemplo, las deformaciones debidos a la expansión térmica y / o contracción) o indirecta a través de efectos sobre las propiedades del material (por ejemplo, cambios en la rigidez debido a la temperatura y / o efectos de la humedad). Las entradas a los modelos de respuesta flexible pavimento son:

1. Geometría del pavimento, espesor de la capa.
2. Medio ambiente

- a. Temperatura vs profundidad de cada temporada.
  - b. La humedad frente a la profundidad de cada temporada.
3. Las propiedades del material (ajustado por los efectos ambientales y otros, según sea necesario)
  - a. Propiedades elásticas.
  - b. Propiedades no lineales (en su caso).
4. Tráfico
  - a. Carga espectro, es decir, las frecuencias de los tipos de vehículos y cargas dentro de cada tipo de vehículo.
  - b. Distribuciones de presión

Los resultados del modelo de respuesta del pavimento son las tensiones, deformaciones y desplazamientos dentro de las capas del pavimento. De particular interés es la respuesta crítica de las variables necesarias como insumos para los modelos de falla del pavimento en el procedimiento de diseño mecánica-empírico. Los ejemplos de variables críticas de respuesta del pavimento incluyen:

- Esfuerzo de tracción horizontal en la parte inferior de la capa de HMA (HMA para el fisuramiento por fatiga)
- Tensiones de compresión vertical / tensiones dentro de la capa de HMA (HMA de ahuellamiento)
- Tensiones de compresión vertical / tensión en las capas de base / sub-base (por ahuellamiento de capas no consolidados)
- Tensiones de compresión vertical / tensiones en la parte superior de la subrasante (de sub-base ahuellamiento)

### **3.3.2.2.- Ubicación de análisis**

Cada variable de respuesta del pavimento debe ser evaluado en un lugar fundamental dentro de la capa de pavimento donde el parámetro está en su valor más extremo. Para una sola carga de rueda, la ubicación crítica por lo general se puede determinar por la inspección. Por ejemplo, el lugar crítico para la tensión de tracción horizontal es en la parte inferior de la capa de HMA, en una carga de una sola rueda, está directamente debajo del centro de la rueda. Para las ruedas de múltiples y / o ejes, la ubicación crítica será una

función de la configuración de carga de la rueda y la estructura del pavimento. Condiciones de tráfico mixto (individuales, además de múltiples rueda / eje del vehículo tipos) complica aún más el problema, ya que el lugar crítico en el pavimento estructura general, no será el mismo en todos los tipos de vehículos. La respuesta del modelo de pavimento debe buscar la ubicación crítica para cada parámetro de respuesta en estos casos.

### **3.3.3.- Predicción de rendimiento**

El diseño y análisis de una estructura de pavimento dado se basa en la acumulación de daños en función del tiempo y del tráfico. Las fallas primarias consideradas en la guía de diseño para los pavimentos flexibles son:

- Deformación permanente (ahuellamiento).
- Agrietamiento por fatiga (de abajo a arriba y de arriba hacia abajo).
- Agrietamiento térmico

Además, la suavidad del pavimento (IRI) se prevé sobre la base de estas fallas primarias y otros factores; la metodología de la Guía de diseño se basa en un enfoque de daños adicionales, fallas y se estima la acumulada para cada intervalo de análisis. Un intervalo de análisis de un mes se define como la unidad básica para la estimación de los daños. Sin embargo, el intervalo de análisis se reduce a dos veces al mes durante los períodos de congelación y deshielo a causa del rápido cambio en el módulo, bajo estas condiciones. El cambio de temperatura y las condiciones de humedad afecta directamente a la respuesta del material y por lo tanto al rendimiento. Los modelos utilizados para la predicción de cada falla se describen con más detalle en las siguientes secciones.

#### **3.3.3.1.- Deformación permanente (ahuellamiento)**

La deformación permanente es uno de los más importantes tipos de carga asociada con la falla que ocurren en los sistemas de pavimento flexible. Se asocia con la formación de surcos en la trayectoria de la rueda, que se desarrolla gradualmente a medida que el número de repeticiones de carga se acumulan, normalmente aparece como depresiones longitudinales en los caminos de las ruedas acompañada de trastornos pequeños a los lados. El ancho y la profundidad del perfil de deformación es altamente dependiente de la estructura del pavimento (espesor de la capa y la calidad), la matriz de tráfico y cantidad,

así como del medio ambiente en el sitio de diseño. En general, el ingeniero tiene que ver la deformación total de la estructura del pavimento y conocer cómo afecta a los perfiles transversales y longitudinales en la superficie, ya que esto puede ser un problema de seguridad importante. Los principales problemas pueden estar asociados con cambios en estos perfiles debido a la consolidación diferencial de alterar el nivel de la superficie.

En el perfil transversal, la formación de surcos a lo largo de la trayectoria de la rueda modifica las características de drenaje y reduce la capacidad de escurrir. El agua puede acumularse en las vías de circulación, reducir la resistencia al deslizamiento de la capa de rodadura y la inseguridad del tránsito. Además, en ambientes más fríos, la nieve y retirar el hielo se ve impedido debido a que la superficie no es plana.

En el perfil longitudinal las deformaciones diferenciales y permanentes se deben a la variabilidad de materiales y / o aumentar la rugosidad en la construcción y reducir la capacidad global de servicio de la carretera. Independientemente del tipo de material considerado, en general, hay tres etapas distintas del comportamiento de deformación permanente de materiales de pavimento, bajo un conjunto dado de material, de carga y las condiciones ambientales. La figura 3.3.13 muestra las tres etapas, éstas se describen a continuación:

- Etapa primaria: Un alto nivel inicial de deformación, con una tasa decreciente de deformaciones, sobre todo los relacionados con el cambio volumétrico.
- Etapa secundaria: Pequeña tasa de deformación que muestra una tasa constante de cambio de deformación que también se asocia con cambios volumétricos; sin embargo, de cortas deformaciones que aumentan a ritmo creciente.
- Etapa terciaria: Alto nivel de formación de roderas asocia principalmente con las de plástico (de corte) deformaciones, bajo ninguna condición de cambio de volumen.

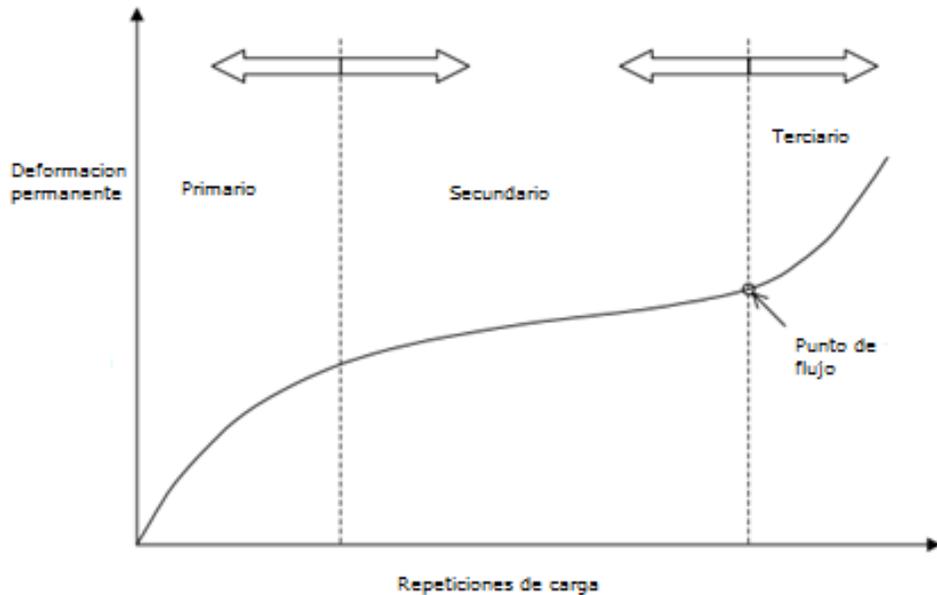


Figura 3.3.13 Típica carga repetida de deformación permanente y su comportamiento del material del pavimento

**Fuente: AASHTO 2008**

La Guía de diseño utiliza un enfoque de los modelos tanto de las etapas primaria y secundaria; con la etapa primaria el modelo utiliza una extrapolación de tendencia de la etapa secundaria. La tercera etapa, aunque también es muy importante, no se tiene en cuenta explícitamente en la metodología del Manual de diseño. Las pruebas de deformación permanente para llegar a esta etapa son extremadamente lentas, difíciles de realizar, así como la falta de una metodología de predicción de implementación. Sin embargo, los principales estudios de investigación, actualmente en curso de forma analítica, tratan este tipo de deformación. Se debe entender que la verdadera deformación de corte no son el modelo en el sistema (de hecho, muy pocos, en su caso, los modelos de predicción de ahuellamiento incorporar esta etapa). Como ya se mencionó anteriormente, el enfoque presentado en la Guía de diseño se basa en el daño incremental. El daño se estima para cada sub-temporada en la mitad de la profundidad de cada subcapa dentro del sistema de pavimento. Para estimar la deformación permanente de cada subcapa individual, el sistema verifica el tipo de capa, se aplica el modelo correspondiente al tipo de material de la subcapa, y calcula la deformación plástica acumulada al final de cada sub-temporada. La deformación permanente total para una temporada determinada es la suma de la deformación permanente para cada capa individual y es matemáticamente expresado como:

$$RD = \sum_{i=1}^{n\text{sublayers}} \epsilon_p^i h^i \quad (3.3.3)$$

Donde:

RD: Deformación permanente del pavimento

n sublayers = Número de subcapas

$\epsilon_p^i$  = Deformación total plástica en la subcapa i

$h^i$  = Espesor de subcapa i

El proceso se repite para cada nivel de carga, subtemporada, y el mes del período de análisis. Dentro de la Guía de diseño la deformación permanente sólo se estima para el asfalto atado y capas no consolidadas. Ninguna deformación permanente se estima para capas químicamente estabilizadas. La estimación de la deformación permanente de asfalto y obligado para capas no consolidadas se explica en los párrafos siguientes.

### 3.3.3.1.1.- La deformación permanente en mezclas asfálticas

La deformación permanente (ahuellamiento) de las mezclas asfálticas es una de las dificultades más importantes en tipos de sistemas de pavimento flexible. La relación constitutiva utilizada en la Guía para predecir deformaciones en las mezclas asfálticas se basa en un campo calibrado de análisis estadístico de laboratorio de repetidas pruebas de carga de deformación permanente. Este modelo de formulario de laboratorio seleccionado es el siguiente:

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_r} = a_1 T^{a_2} N^{a_3} \quad (3.3.4)$$

Donde:

$\epsilon_p$  = La tensión acumulada de plástico en n repeticiones de carga (pulg / pulg)

$\epsilon_r$  = Resistencia de la tensión del asfalto en función de las propiedades de la mezcla, la temperatura y la tasa de tiempo de carga (pulg / pulg)

N = Número de repeticiones de carga

T = Temperatura (°F)

$a_1$  = Coeficientes de regresión no lineal

Mientras que las relaciones estadísticas evaluadas desde el laboratorio de repetidas pruebas de carga en mezclas asfálticas, se consideraron razonables, factores de calibración en

campo,  $\beta_{r1}$ , eran necesarios para determinar el modelo de campo de falla final. La ecuación final de asfalto en ahuellamiento a cabo en la Guía de diseño es de la siguiente forma:

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_r} = \beta_{r1} a_1 T^{a_2 \beta_{r2}} N^{a_3 \beta_{r3}} \quad (3.3.5)$$

Es una ecuación relativamente sencilla de utilizar en el proceso de implementación. La última expresión de laboratorio que fue seleccionada inicialmente para el campo en la calibración / validación del proceso, fue:

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_r} = 10^{-3.15552} T^{1.734} N^{0.39937} \quad (3.3.6)$$

$$R^2 = 0.644$$

$$N = 3476 \text{ observaciones}$$

$$S_e = 0.321$$

$$S_e / S_y = 0.597$$

Este modelo que se muestra en la ecuación 3.3.6 se basa en un extenso trabajo de investigación llevado a cabo por Leahy (7), Ayers (8), y Kaloush (NCHRP 09.19: "Modelos Superpave" [9]). El modelo de ámbito nacional calibrado utilizado en la Guía de Diseño fue determinado por optimización numérica y otros modos de comparación de resultados en la calibración nacional los factores de:

$$\beta_{r1} = 0.509 \quad \beta_{r2} = 0.9 \quad \beta_{r3} = 1.2$$

Esto se tradujo en el modelo final que se muestra a continuación:

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_r} = k_1 * 10^{-3.4488} T^{1.5606} N^{0.479244} \quad (3.3.7)$$

En esta ecuación se puede observar que el parámetro de profundidad "k1" se ha introducido para proporcionar lo más preciso, un modelo de predicción de profundidad de ahuellamiento posible. Este análisis se completó mediante la utilización de estudios de zanja desde el sitio de la prueba MnRoad.

$$k_1 = (C_1 + C_2 * \text{depth}) * 0.328196^{\text{depth}} \quad (3.3.8b)$$

$$C_1 = -0.1039 * h_{ac}^2 + 2.4868 * h_{ac} - 17.342 \quad (3.3.8b)$$

$$C_1 = -0.0172 * h_{ac}^2 - 1.7331 * h_{ac} + 27.428 \quad (3.3.8c)$$

Donde:  $k_1$  = función del espesor total de las capas de asfalto (HAC, pulgadas) y profundidad (profundidad, pulgadas), al punto de cálculo, para corregir la presión de confinamiento a diferentes profundidades.

$$R^2 = 0.648$$

$$N = 387 \text{ observaciones}$$

$$S_e = 0.063 \text{ pulgadas} \quad S_e / S_y = 0.574$$

El modelo de ahuellamiento de los nuevos sistemas de pavimento ha sido parcialmente calibrado basado en 88 LTPP de nuevas secciones ubicadas en 28 estados. Series cronológicas de datos están disponibles para muchas de las secciones, que son el número total de 387 observaciones de campo en deformaciones. La figura 3.3.14 muestra el gráfico de la predicción en comparación con la formación de roderas de asfalto estimado medido. La deformación observada en las secciones LTPP se informó de la deformación total promedio de la medida en la superficie de los carriles izquierdo y derecho. Sin embargo, para obtener las deformaciones en las capas individuales, el porcentaje de la subcapa de ahuellamiento prevista se multiplica por el promedio total de ahuellamiento para aproximar la formación de surcos en cada capa. Este enfoque es aplicable a la formación de deformaciones en las capas granulares y el subsuelo. Esta hipótesis fundamental era necesaria en el desarrollo del modelo de ahuellamiento por la zanja (profundidad de la capa RUT), los datos no estaban disponibles.

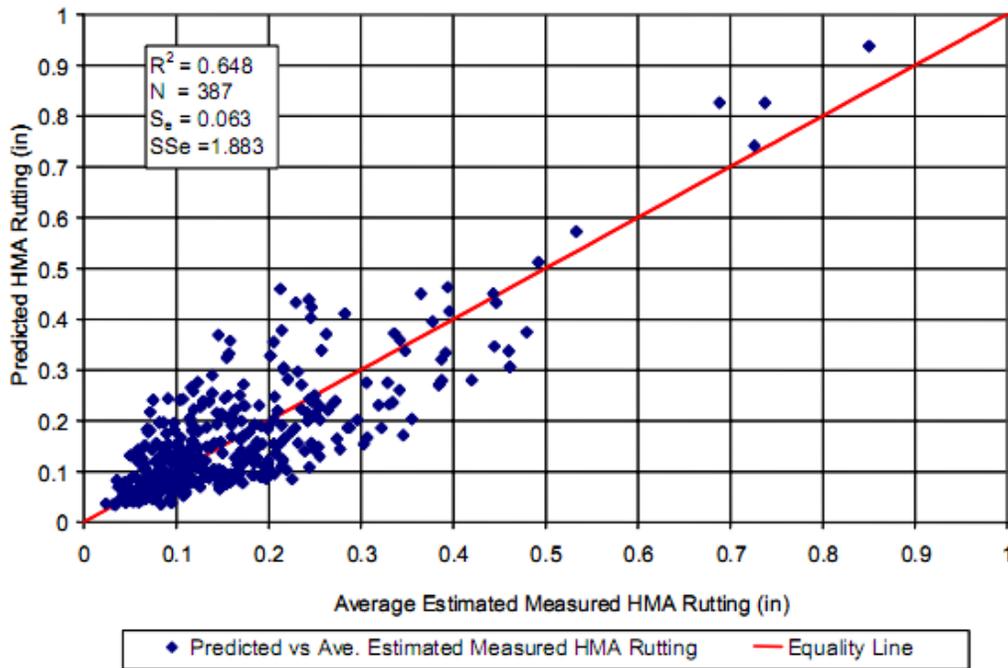


Figure 3.3.14. Nationally calibrated predicted versus estimated measured asphalt rutting.

Figura 3.3.14. Calibración nacional prevista versus el ahuellamiento estimado del asfalto

**Fuente: AASHTO 2008**

### 3.3.3.1.2.- La deformación permanente en materiales granulares

El marco inicial del modelo utilizado para predecir la deformación permanente en las capas de materiales no consolidados, se propuso por Tseng y Lytton (10). La relación básica es la siguiente:

$$\delta_a(N) = \beta_1 \frac{\epsilon_0}{\epsilon_r} e^{-\left(\frac{\rho}{N}\right)^\beta} \epsilon_v h \quad (3.3.9)$$

Donde:

$\delta_a$  = Deformación permanente de la capa / subcapa (pulgadas)

$N$  = Número de repeticiones de tráfico

$\epsilon_0, \beta, \rho$  = Propiedades de los materiales.

$\epsilon_r$  = Esfuerzo resistente impuesto en la prueba de laboratorio para obtener las propiedades de los materiales antes mencionados,  $\epsilon_0, \beta, \rho$

$\epsilon_v$  = Esfuerzo vertical resistente promedio en la capa / subcapa como se obtiene desde el modelo de respuesta primaria (pulgada / pulgada)

$h$  = Espesor de la capa / subcapa (pulgada)

$\beta_1$  = Factor de calibración para las capas granulares y capas sub-base no consolidadas

Los modelos modificados son:

$$\log \beta = -6.11119 - 0.017638 W_c \quad (3.3.10a)$$

$$\log \left( \frac{\epsilon_0}{\epsilon_r} \right) = \frac{(e^{(\rho)^\beta} * a_1 E_r^{b_1}) + (e^{(\rho/10^9)^\beta} * a_9 E_r^{b_9})}{2} \quad (3.3.10b)$$

$$C_0 = \ln \left[ \frac{(a_1 * E_r^{b_1})}{a_9 * E_r^{b_9}} \right] \quad (3.3.10c)$$

$$\rho = 10^9 \left[ \frac{C_0}{(1 - (10^9)^\beta)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (3.3.10d)$$

$$W_c = 51.712 \left[ \left( \frac{E_r}{2555} \right)^{\frac{1}{0.64}} \right]^{-0.3586 * GWT^{0.1192}} \quad (3.3.10e)$$

El modelo final calibrado para la base granular no consolidada es el siguiente:

$$\delta_a(N) = \beta_{GB} \frac{\epsilon_0}{\epsilon_r} e^{-\left(\frac{\rho}{N}\right)^\beta} \epsilon_v h \quad (3.3.11)$$

Con el factor de calibración nacional de  $\beta_{GB} = 1,673$  se ha determinado.

$$R^2 = 0.677$$

$$N = 387 \text{ observaciones}$$

$$Se = 0.023 \text{ in}$$

$$Se / Sy = 0.524$$

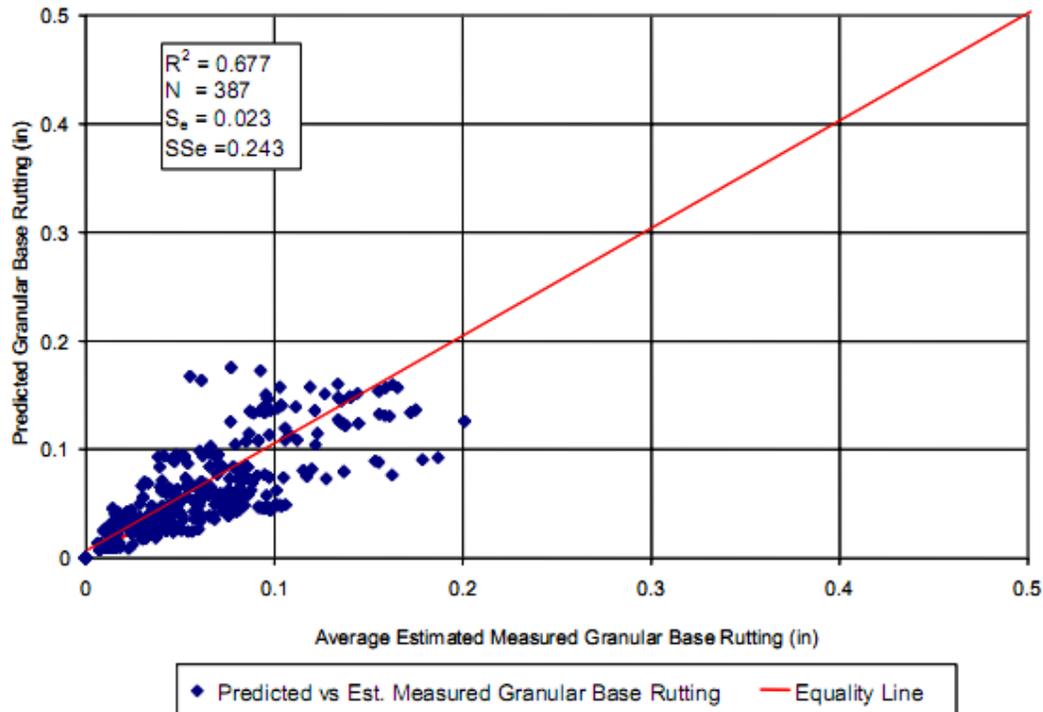


Figure 3.3.15. National calibrated predicted versus estimated measured granular base rutting.

Figura 3.3.15 Calibration nacional predecida versus ahuellamiento de la base granular

**Fuente: AASHTO 2008**

El modelo final calibrado para todos los suelos de la subrasante es el siguiente:

$$\delta_a(N) = \beta_{SG} \frac{\epsilon_0}{\epsilon_r} e^{-\left(\frac{L}{N}\right)^\beta} \epsilon_v h \quad (3.3.12)$$

Con el factor de calibración nacional de  $\beta_{GB} = 1,35$  se ha determinado.

$$R^2 = 0.136$$

$$N = 387 \text{ observaciones}$$

$$S_e = 0.045 \text{ in}$$

$$S_e / S_y = 0.850$$

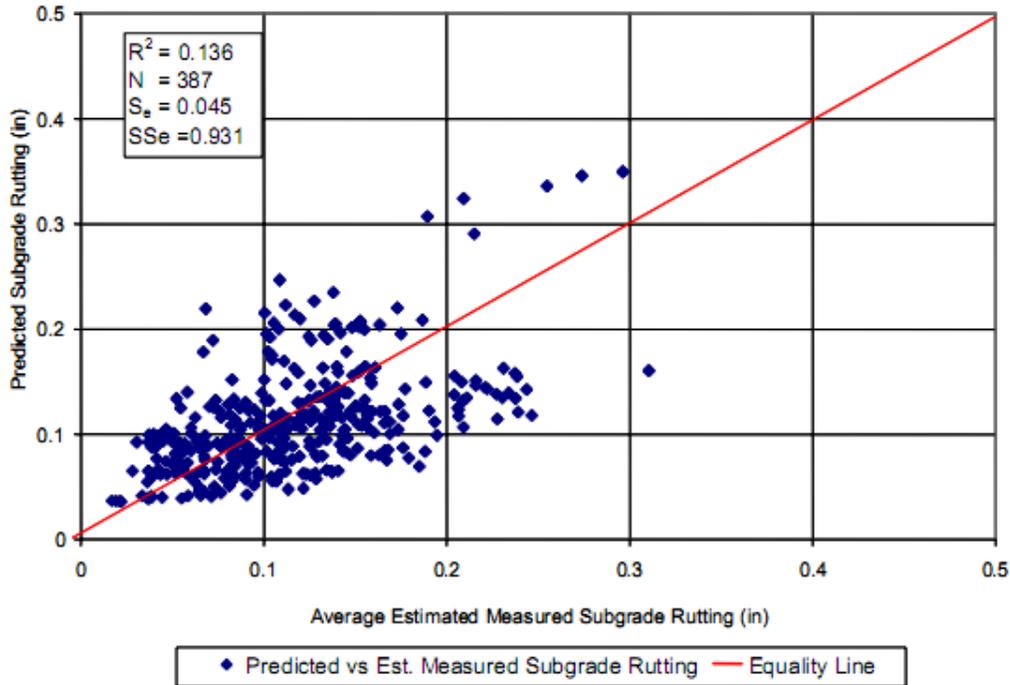


Figure 3.3.16. National calibrated predicted versus estimated measured subgrade rutting.

Figura 3.3.16 Calibración nacional predecida versus ahuellamiento estimado de la subrasante

**Fuente: AASHTO 2008**

### 3.3.3.1.3.- Deformación permanente de la estructura total del pavimento

La deformación total en la estructura del pavimento es igual a la suma de la deformación permanente de capa individual de cada temporada. La deformación total se puede expresar por la siguiente ecuación:

$$RD_{TOTAL} = RD_{AC} + RD_{GB} + RD_{SG} \quad (3.3.13)$$

El resumen estadístico de la comparación entre la profundidad total dejada del surco previsto y la profundidad total dejado del surco medido, es el siguiente:

$$\begin{aligned} R^2 &= 0.399 & N &= 387 \text{ observaciones} \\ S_e &= 0.121 \text{ in} & S_e / S_y &= 0.822 \end{aligned}$$

La deformación permanente en el asfalto, capas granulares de base / sub-base, y el subsuelo se muestran en las ecuaciones 3.3.7, 3.3.11, 3.3.12, respectivamente. El modelo de deformación fue calibrado basado en 88 secciones LTPP en 28 Estados.

#### **3.3.3.1.4.- Factores que afectan la deformación permanente en Pavimentos Flexibles**

Muchos factores afectan la deformación permanente en las capas del pavimento. Algunos de estos factores pueden ser controlados o modificados, mientras que el resto son factores externos que no pueden ser controlados. Los siguientes factores afectan la cantidad de deformación permanente en las diferentes capas de la estructura del pavimento:

- HMA espesor de la capa
- HMA capa de módulo dinámico
- Ligante de grado en la mezcla de HMA
- Burbujas de aire en las capas de asfalto
- Contenido de aglutinante efectivo en las capas de asfalto
- Base tipo grosor del base de la rigidez
- Carga de tráfico, área de contacto y presión de los neumáticos
- El tráfico de la velocidad de operación
- Paso de tráfico.
- Temperatura y condiciones ambientales

##### **3.3.3.1.4.1.- Paso de tráfico**

El tráfico contenido en una ruta fija hace que la carga se concentre en un lugar determinado, lo que conduce a un mayor ahuellamiento en este lugar.

##### **3.3.3.1.4.2.- Temperatura y condiciones ambientales**

- La temperatura es un factor importante que influye en la rigidez del asfalto y en consecuencia en el módulo dinámico de mezclas de concreto asfáltico, debido a que el módulo de las capas de asfalto dentro de la estructura del pavimento afecta a la respuesta general del pavimento; es importante tener en cuenta la temperatura así como función del tiempo y la profundidad.
- Las condiciones ambientales son representados por el cambio de humedad en el suelo, subsuelo y suelo granular. El cambio de contenido de humedad es el factor más importante para la cantidad de surcos para determinado tipo de materiales no consolidados. Esto se debe al hecho de que el aumento del contenido de humedad en

una capa no consolidada conducirá a una disminución en el módulo resiliente de la capa. Para todas las demás condiciones de la misma, esto conducirá a una mayor elasticidad (resistencia) de tensión y por lo tanto más ahuellamiento. Durante la temporada de heladas, la humedad se congelará y la rigidez de la capa aumentará en gran medida.

### 3.3.3.1.5.- La fiabilidad de deformación permanente

El diseño de la confiabilidad se obtiene mediante la determinación del ahuellamiento previsto en el nivel deseado de fiabilidad de la siguiente manera:

$$RD_P = \Sigma_i(RD_i) + \sqrt{Se_{RDAC}^2 + Se_{RDGB}^2 + Se_{RDSG}^2} * Z_p \quad (3.3.24)$$

Donde:

$RD_P$  = Ahuellamiento previsto en el nivel de fiabilidad P, pulgadas

$RD_i$  = Ahuellamiento previsto basándose en las aportaciones medias (que corresponde al 50% de fiabilidad), pulgadas.

$Se_{RD_i}$  = Error estándar de ahuellamiento en el nivel previsto

$Z_p$  = Desviación normal estándar

i = Tipo de capa, HMA, base, subrasante

$$Se_{RDAC} = 0.1587 RD_{ac}^{0.4579} \quad (3.3.25a)$$

$$Se_{RDGB} = 0.1169 RD_{GB}^{0.5303} \quad (3.3.25.b)$$

$$Se_{RDSG} = 0.1724 RD_{SG}^{0.5516} \quad (3.3.25.c)$$

### 3.3.3.1.6.- Modificación de diseño flexible para reducir la deformación permanente

Si el ahuellamiento previsto es superior a los requisitos de diseño, el diseño del ensayo debe ser modificado para aumentar la capacidad estructural y la calidad de los materiales utilizados en todas las capas; diferentes parámetros de diseño tienen un impacto diferente sobre las diferentes medidas de rendimiento. La primera cosa que el ingeniero tiene que cumplir es la evaluación crítica de la cantidad inicial prevista de profundidad del surco dejado por el tipo de capa de material en el primer diseño (de prueba). Este es un paso muy importante como la opción de diseño (modificación) debe ser compatible con la capa (s)

con las predicciones de mayor profundidad de ahuellamiento. A efectos prácticos, la discusión que sigue se basa en que la capa de material está dando el mayor porcentaje de la profundidad de ahuellamiento total del pavimento.

#### **3.3.3.1.7.- HMA capa de ahuellamiento**

Si la fuente principal de ahuellamiento se produce en la capa de asfalto HMA, la consideración más importante de diseño sería el de aumentar la calidad de la capa de HMA que se coloca. En el enfoque de Guía de diseño, el factor directo que se puede controlar es aumentar la rigidez de la mezcla HMA (módulo). Esto se puede lograr mediante el uso de un grado más rígido de la carpeta, con menos asfalto y asegurar que las especificaciones de campo de la compactación se cumplan plenamente. Además, todos los factores conocidos históricos, que tienden a mejorar la estabilidad de una mezcla HMA también deben ser considerados en la fase de diseño de la mezcla (es decir, partículas trituradas, etc. máximo tamaño nominal del agregado). Si esto se logra, será muy importante para asegurar que todas las otras fallas HMA relacionadas, tales como fractura por fatiga térmica, no se incrementen hasta el punto en que supere sus propios criterios de objetivos de falla. Otra consideración importante que el ingeniero debe reconocer es el hecho de que la mayoría de los surcos en la capa de HMA en general, se producirá dentro de los 3 - 5-in. Así, si se utiliza una mala calidad de mezcla HMA, al aumentar el espesor de esta capa de mala calidad no va a disminuir la formación de surcos en la capa de HMA. De hecho, con toda probabilidad, el ahuellamiento se incrementará. Por lo tanto, aumentando el espesor de una capa de HMA, de mala calidad, no proporcionará ningún beneficio para disminuir la profundidad del ahuellamiento del pavimento.

Por último, si el ingeniero está convencido de que el diseño de la mezcla HMA es el adecuado, el aumento del espesor de la capa de HMA puede ser evaluado para determinar en qué medida, el potencial de ahuellamiento puede ser disminuido. En general, esta disminución no puede ser significativa; sin embargo, como se explica en la siguiente sección, el aumento del espesor de HMA sin duda beneficia a la disminución de la profundidad del surco dejado en la capa base sin consolidar, sub-base y en particular de la capa de subrasante.

#### **3.3.3.1.8.- Ahuellamiento de Base / Sub-base sin consolidar**

Como regla general, la predicción de ahuellamiento dentro de las bases y sub-bases no consolidadas no es un problema importante cuando el material actual y las especificaciones de construcción se cumplen en el diseño. Si está por encima de los valores típicos del ahuellamiento deseado, el ingeniero debería aumentar (mejorar) la calidad (CBR o valor R) de la capa no consolidada en cuestión. El uso de un CSM (capa químicamente estabilizada) tenderá a eliminar el problema de ahuellamiento dentro de la capa de base / sub-base. Esta acción también tenderá a disminuir el potencial de ahuellamiento en subcapas (subrasante) por debajo del sistema de base / sub-base. Como regla general, si cualquiera de las capas dentro de la base / sub-base son de mala calidad, aumentando el espesor de estas capas sólo tenderán a aumentar la formación de roderas, no la disminuirá. Finalmente, la presencia del exceso de humedad en cualquier capa de base / sub-base (en particular, como el material de la capa tiende a aumentar el nivel de finos) es un método muy directo para disminuir el valor del módulo de la capa de material. Como el módulo es menor, la tensión resistente ha aumentado significativamente, y en consecuencia, el ahuellamiento es mucho mayor. Esto aumenta la necesidad de tener un buen drenaje, base / sub-base de sistemas presentes en cualquier diseño.

#### **3.3.3.1.9.- Ahuellamiento de la subrasante sin consolidar**

Para todos los propósitos prácticos, puede ser razonable prever que el análisis de prueba inicial será tolerable para dar lugar a mayores profundidades de ahuellamiento dentro de los niveles de fundación (subrasante). Con el fin de reducir la magnitud de ahuellamiento en las capas de sub-base, el ingeniero debe entender y reconocer que todos los factores que tienden a aumentar la rigidez global y la rigidez de la estructura del pavimento que se encuentra en toda la sub-base, tenderá a reducir la formación de surcos en las capas de la sub-base. Es decir, que cualquier modificación de diseño que aumente la rigidez de la capa y / o espesor de la capa o de las capas por encima de las capas de sub-base tendrá una tendencia a reducir la tensión resistente, y por lo tanto, la deformación plástica, en las capas de sub-base, el efecto neto de esta acción será tener una predicción de profundidad de ahuellamiento reducida. En general, el uso de las capas añadidas HMA logra dos factores

importantes: en primer lugar, el aumento del módulo de la capa más gruesa se traducirá en un aumento significativo en la capa de "Rigidez relativa", esto causará una reducción en la tensión y los estados de deformación en la sub-base, lo que reducirá la magnitud de profundidad del surco dejado, como se señaló anteriormente, el uso de capas de CSM logra el mismo impacto que el aumento del espesor de las HMA capa. Finalmente, una manera efectiva en la que puede ser el ahuellamiento en la sub-base se reduce a aumentar el grosor de la capa de sub-base no consolidada. Con eficacia, reduce el esfuerzo en las capas de subsuelo que conducen a un surco de una profundidad de magnitud reducida en la subrasante. Finalmente, si bien todas las consideraciones de diseño anteriores se han centrado en los cambios en la estructura que recubre la capa de pavimento para reducir la tensión de la subrasante resultante, las consideraciones de diseño final por parte del ingeniero debe centrarse en todas las actividades de diseño que aumentan la rigidez (módulo) de la sub-base capa (s) misma. Por el momento, la consideración más importante en el aumento del módulo de la subrasante se relaciona con la capacidad de proteger la capa crítica de los efectos perjudiciales de la humedad. El aumento de la humedad in-situ, por sólo un pequeño porcentaje, puede dar lugar a cambios muy significativos en la resistencia de la subrasante (módulo). Las opciones de diseño que están disponibles a considerar para minimizar (eliminar) el ahuellamiento excesivo del subsuelo son: el uso de la subrasante tratada con cal, cemento, etc., la utilización eficiente de los sistemas de drenaje subterráneo, tejidos geotextiles, que envuelve en una barrera impenetrable contra la humedad.

### **3.3.3.2.- Agrietamiento por fatiga**

La carga asociada a la fisuración por fatiga es uno de los tipos de falla graves que se producen en los sistemas de pavimento flexible. La acción de las cargas repetidas de tráfico provoca las tensiones de tracción y de corte en las capas límite, que finalmente conducen a una pérdida en la integridad estructural de una capa estabilizada. La ubicación de la tensión crítica depende de varios factores, el más importante es la rigidez de la capa y la configuración de la carga. Además, debe tenerse en cuenta que el esfuerzo de tracción máxima desarrollada dentro del sistema de pavimento no podría ser el valor más crítico o dañino.

Esto se debe a que la deformación crítica es una función de la rigidez de la mezcla, dado que la rigidez de una mezcla asfáltica en un sistema de pavimento en capas varía con la profundidad; estos cambios con el tiempo afectarán a la ubicación de la deformación crítica que hace daño por fatiga. Una vez que el daño se inicia en el lugar crítico, la acción continua de tráfico con el tiempo causa que estas grietas se propaguen a través de la capa límite entera. La propagación de las grietas en todo el espesor de la capa produce que toda el agua pueda filtrarse en las capas inferiores no consolidadas, lo que debilita la estructura del pavimento y la reducción del rendimiento general. Esto resultará una pérdida significativa en la suavidad al causar una disminución en la manejabilidad del pavimento. Este fenómeno da la iniciación de fisuras y propagación que a través de toda la capa se produce no sólo en la capa superficial, sino también en todas las capas estabilizadas por debajo. La formación de grietas en la capa subyacente, como el cemento estabilizado, reduce la capacidad general de la estructura y puede inducir a la reflexión de grietas en las capas superiores. Durante las últimas 3 a 4 décadas en la tecnología de pavimento, ha sido común suponer que la fisuración por fatiga normalmente se inicia en la parte inferior de la capa de asfalto y se propaga a la superficie (Fisuración de abajo hacia arriba). Esto se debe a la acción de flexión de la capa de pavimento que se traduce en esfuerzos de flexión a desarrollar en la parte inferior de la capa límite. Sin embargo, numerosos estudios recientes en todo el mundo han demostrado claramente que la formación de grietas de fatiga también puede ser iniciado desde la parte superior y se propaga hacia abajo (Fisuración de arriba hacia abajo). Este tipo de fatiga no está tan bien definido desde el punto de vista mecanicista como el más clásico "fatiga de abajo hacia arriba". En general, es probable que sea debido a la tensión crítica y / o tensiones de corte desarrolladas en la superficie y causadas por las presiones de contacto del neumático son muy grandes en los bordes del pavimento, junto con la alta edad (rígido) de la capa superficial que se ha oxidado.

La Guía de diseño utiliza el enfoque de los modelos tanto de la formación de grietas de arriba abajo y de abajo hacia arriba. El enfoque se basa en el cálculo del daño por fatiga en la superficie de las grietas de arriba hacia abajo y en la parte inferior de cada capa de asfalto de grietas de abajo hacia arriba. Los daños por fatiga luego se correlacionan con los datos de calibración a la fisuración por fatiga. La estimación de daños por fatiga se basa en la Ley de Miner, que establece que el daño está dado por la siguiente relación:

$$D = \sum_{i=1}^T \frac{n_i}{N_i} \quad (3.3.26)$$

Donde:

D = daño.

T = número total de períodos.

$n_i$  = tráfico real para el período i

$N_i$  = El tráfico permitido en las condiciones imperantes en el i.

### 3.3.2.5.1.- Agrietamiento por fatiga en mezclas asfálticas

Para caracterizar el daño por fatiga en la capa de asfalto, las numerosas formas modelo se pueden encontrar en la literatura existente. El formulario modelo más utilizado para predecir el número de repeticiones de carga de agrietamiento por fatiga es una función de la tensión, a la tracción y la rigidez de la mezcla (módulo). Los puntos críticos pueden ser ya sea en la superficie y dar lugar a grietas de arriba hacia abajo o en la parte inferior de la capa asfáltica y dar lugar a grietas de abajo hacia arriba.

La mayoría de las relaciones disponibles tienen una estructura básica común y son función de la rigidez de la mezcla y el esfuerzo de tracción. La relación de uso matemático utilizado para la caracterización de la fatiga es de la forma siguiente:

$$N_f = C k_1 \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^{k_2} \left(\frac{1}{E}\right)^{k_3}$$

$$= \beta_{f1} k_1 (\epsilon_t)^{-\beta_{f2} k_2} (E)^{-\beta_{f3} k_3} \quad (3.3.27)$$

$N_f$  = Número de repeticiones para el agrietamiento por fatiga

$\epsilon_t$  = Esfuerzo de tracción en la ubicación crítica

$E$  = Rigidez del material

$k_1, k_2, k_3$  = Coeficiente de regresión de laboratorio

$\beta_{f1}, \beta_{f2}, \beta_{f3}$  = Calibración de parámetros

$C$  = Factor de ajuste de laboratorio al campo

La relación final que se utiliza para la predicción de la cantidad de repeticiones de agrietamiento por fatiga es el Instituto del Asfalto modelo (13), que se basa en el criterio de la tensión constante y se puede expresar como:

$$N_f = 0.00432C\left(\frac{1}{\varepsilon_1}\right)^{3.291}\left(\frac{1}{E}\right)^{0.854}$$

$$C = 10^M$$

$$M = 4.84 \left( \frac{V_b}{V_a + V_b} - 0.69 \right) \quad (3.3.28)$$

Donde:

$V_b$  = Contenido de aglutinante efectivo

$V_a$  = Burbujas de aire

El modelo de ámbito nacional calibrado utilizado en la Guía de Diseño fue determinado por optimización numérica y otros modos de comparación de resultados en los factores de calibración nacional de:

$$\beta_{f1} = k'_1 * \beta'_{f1}$$

$$\beta'_{f1} = 1.0$$

$$\beta_{f2} = 1.2$$

$$\beta_{f3} = 1.5$$

Esto resulta del siguiente modelo final:

$$N_f = 0.00432 * k'_1 * C\left(\frac{1}{\varepsilon_1}\right)^{3.9492}\left(\frac{1}{E}\right)^{1.281} \quad (3.3.29)$$

En esta ecuación, el parámetro k fue introducido para brindar una corrección para los efectos de los diferentes espesores de la capa de asfalto (hac).

a.- Para el fisuramiento de abajo hacia arriba

$$k'_1 = \frac{1}{0.000398 + \frac{0.003602}{1 + e^{(11.02 - 3.49 * hac)}}} \quad (3.3.30a)$$

b.- Para el fisuramiento de arriba hacia abajo

$$k'_1 = \frac{1}{0.01 + \frac{12}{1 + e^{(15.676 - 21.8786 * hac)}}} \quad (3.3.30b)$$

Donde: hac = Espesor total de las capas de asfalto (pulgadas)

La función de transferencia final a calcular el agrietamiento por fatiga de los daños por fatiga se expresa como:

a.- Para el fisuramiento de abajo hacia arriba (% de la superficie total de carriles)

$$FC_{bottom} = \frac{6000}{1+e^{(C_1 * C'_1 + C_2 * C'_2 * \log_{10}(D * 100))}} * \left(\frac{1}{60}\right) \quad (3.3.31a)$$

Donde:

$FC_{bottom}$  = Agrietamiento por fatiga de abajo hacia arriba, porcentaje del área de carril

D = Daños por fatiga de abajo hacia arriba

$$C_1 = 1.0 \quad C'_1 = -2 * C'_2 \quad C'_2 = 1.0$$

$$C'_2 = -2.40874 - 39.748 * (1 + h_{ac})^{-2.856}$$

N = 461 observaciones

$$Se = 6.2 \% \quad Se/Sy = 0.947$$

Para el fisuramiento de arriba hacia abajo (ft/mi)

$$FC_{top} = \frac{1000}{1+e^{(7.0 - 3.5 * \log_{10}(D * 100))}} * (10.56) \quad (3.3.31b)$$

Donde:

$FC_{top}$  = agrietamiento por fatiga de arriba hacia abajo, pies/milla

D = Daño de arriba hacia abajo

N = 414 observaciones

$S_e = 1242.25$  pies/milla

$$S_e/S_y = 0.977$$

El modelo del agrietamiento por fatiga para las mezclas de concreto asfáltico se ha calibrado basado en 82 secciones LTPP ubicadas en 24 Estados. Series cronológicas de datos están disponibles para muchas secciones, lo que resulta de 441 observaciones para el fisuramiento de piel de cocodrilo y 408 puntos de datos para grietas longitudinales.

Figuras 3.3.20 y 3.3.21 muestran las gráficas de la relación tanto de la medición y estimación del agrietamiento en función de los daños por fatiga de las capas de asfalto. De abajo hacia arriba grietas se calcula como un porcentaje del área total de carril. Mientras, las grietas se calculan como la longitud metros lineales en una milla. El agrietamiento medido utilizado en la calibración es la suma total de la severidad alta, media y baja de la formación de grietas.

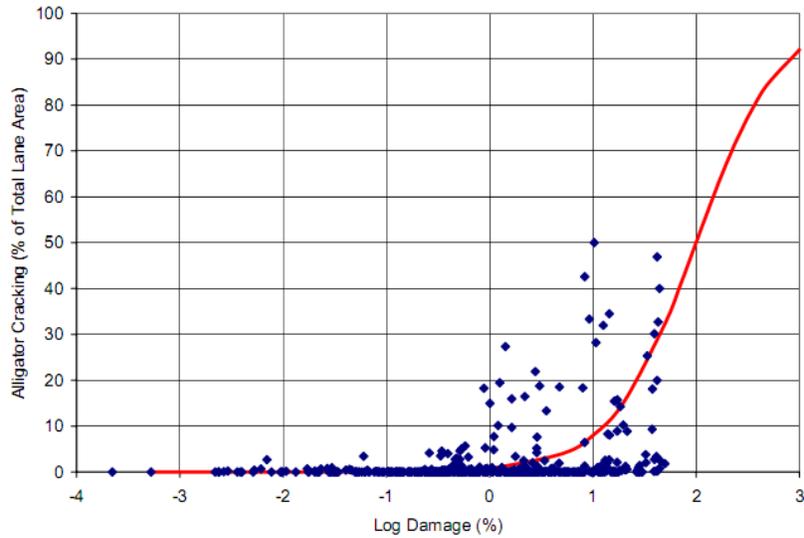


Figure 3.3.20. Bottom-up cracking versus fatigue damage at bottom of HMA layer.

Figura 3.3.20 Agrietamiento de abajo hacia arriba versus daño por fatiga en el fondo de la capa HMA

**Fuente: AASHTO 2008**

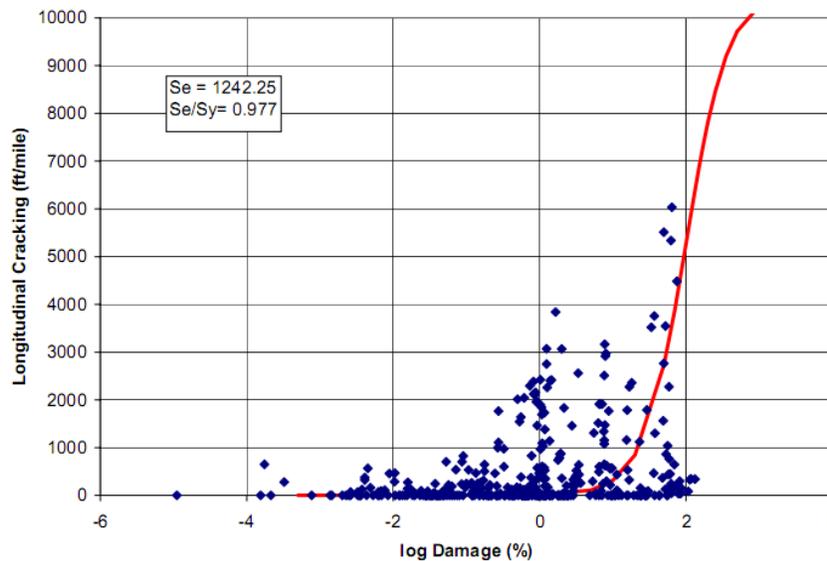


Figure 3.3.21. Top-Down cracking versus fatigue damage at surface of HMA layer.

Figura 3.3.21 Agrietamiento de arriba hacia abajo versus el daño por fatiga en la superficie de la capa HMA

**Fuente: AASHTO 2008**

### 3.3.2.5.2.- Factores que afectan el agrietamiento por fatiga en Pavimentos Flexibles

Muchos factores afectan el agrietamiento por fatiga en las capas del pavimento. Algunos de estos factores pueden ser controlados o modificados, mientras que el resto son factores externos que no pueden ser controlados. Los siguientes factores afectan la cantidad de agrietamiento por fatiga de las capas de asfalto en la estructura del pavimento:

- HMA espesor de la capa.
- HMA capa de módulo dinámico.
- Carpeta de grado en la mezcla de HMA.
- Burbujas de aire en las capas de asfalto.
- Contenido de aglutinante efectivo en las capas de asfalto.
- Base de espesor.
- Módulo de la subrasante.
- Configuración de la carga de tráfico.
- La carga de tráfico, área de contacto y presión de los neumáticos.
- Repeticiones de carga de tráfico.
- La temperatura y condiciones ambientales.

Si bien muchos de estos parámetros son constantes a lo largo del período de diseño (por ejemplo, el espesor de la capa), otros pueden variar según la temporada, mensual, cada hora, o con la edad del pavimento. Para obtener resultados exactos, todas las variables que producen los parámetros de pavimento muy diferente de respuesta (esfuerzo, tensión) deben ser evaluadas por separado. La acumulación de grietas por fatiga se define en esta guía de la siguiente manera:

- Edad del pavimento - Cambios en el módulo dinámico y HMA endurecimiento de la carpeta de asfalto.
- Mes - representa las variaciones mensuales en la superficie y la temperatura del pavimento, que afecta a la HMA módulo dinámico, así como, la variación de la humedad en el subsuelo y las capas de base. Puede ser un período de dos veces al mes si la congelación y descongelación existe.
- Tráfico de velocidad (frecuencia de carga) - efecto en el módulo dinámico de las HMA de la mezcla.
- Configuración de la carga - en tándem único, trídem y quad

## Nivel de carga

Eje simple – 3,000 a 41,000 lb/in 1,000-lb incrementos.

Eje Tándem – 6,000 a 82,000 lb in 2,000-lb incrementos.

Eje Trídem – 12,000 a 102,000 lb in 3,000-lb incrementos

Eje Quad – 12,000 a 102,000 lb in 3,000-lb incrementos.

- Temperatura y condiciones ambientales - Temperatura es un factor importante que influye en la rigidez de asfalto y en consecuencia, en el módulo dinámico de mezclas de hormigón asfáltico. Debido a que el módulo de las capas de asfalto dentro de la estructura del pavimento afecta a la respuesta del pavimento en general, es importante tener en cuenta adecuadamente la temperatura en función del tiempo y la profundidad. Condiciones ambientales en los materiales no consolidados son principalmente representados por los cambios de humedad en la sub-base y base / sub-base. El cambio de contenido de humedad es un factor importante para un determinado tipo de materiales no consolidados. Esto se debe al hecho de que el aumento de la humedad contenido en una capa no consolidada conducirá a una disminución en el módulo resiliente de la capa. Para todas las demás condiciones de la misma, esto llevará a un mayor  $E_i/E_i$  una relación de capas sucesivas, que a su vez conducirá a una mayor resistencia a la tensión / distensión en la capa de HMA y por lo tanto un mayor nivel de daños por fatiga. Durante la temporada de heladas, la humedad puede congelar y la capa puede realmente aumentar la rigidez. Esto dará como resultado (para todos los propósitos prácticos) poco o ningún daño a la fatiga producido en la capa de HMA.

### **3.3.2.5.2.1.- Espesor de HMA y coeficiente de balasto en el fisuramiento de piel de cocodrilo**

La relación que se muestra en la Figura 3.3.22 ilustra un hecho fundamental muy importante con respecto a la distribución de las grietas de fatiga de cocodrilo para los sistemas de pavimento flexible. En primer lugar, para todos los niveles de espesor de HMA, se puede observar claramente que la magnitud de grietas cocodrilo es mayor en el soporte

de la subrasante reducida.

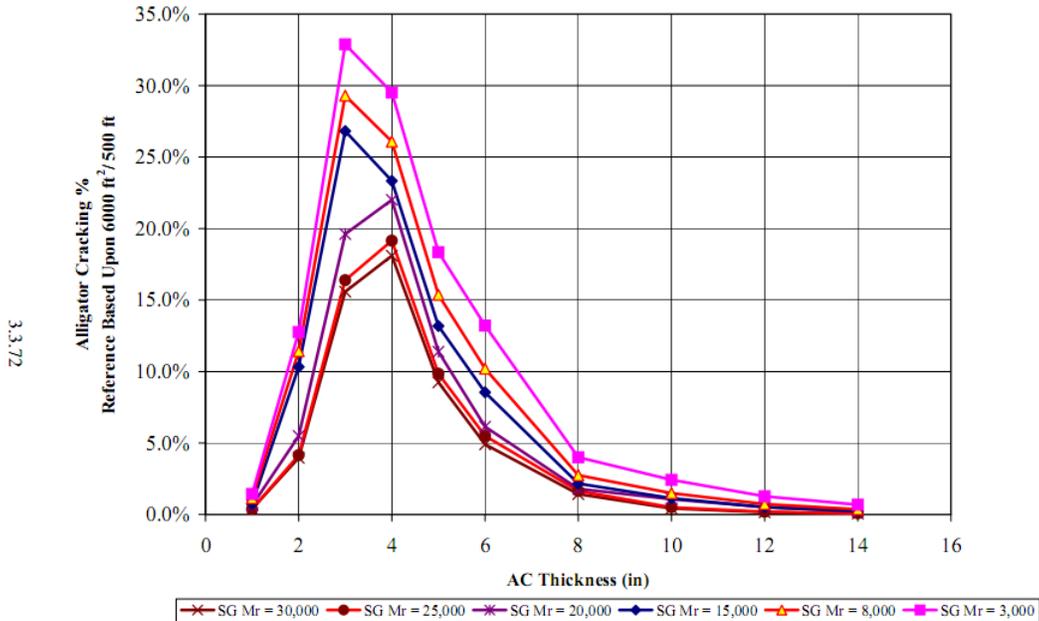


Figure 3.3.22. Effect of HMA layer thickness on alligator fatigue cracking

Figura 3.3.22 Efecto del espesor de la capa HMA en el agrietamiento de piel de cocodrilo

**Fuente: AASHTO 2008**

También se puede observar que la sensibilidad, o el impacto del soporte de la subrasante sobre las grietas de cocodrilo, están directamente relacionados con el espesor de la capa de HMA. Tal vez la conclusión fundamental más importante que puede extraerse de la figura es que por su buen desempeño, el espesor adecuado de las capas de HMA debe ser lo más fina como práctico o tan grueso como sea posible. Se refuerza el viejo dicho del pavimento flexible que dice "... si usted construye un pavimento fino, debe ser delgada... si usted construye grueso, entonces debe ser construido grueso". La figura indica claramente que el mayor potencial de rotura por fatiga está realmente asociado a las capas de HMA que se encuentran normalmente en el rango de 3 y 5 pulgadas de espesor.

La razón fundamental detrás de los resultados que se muestran en la figura es un ejemplo poderoso de la utilización de un enfoque mecanicista de diseño de pavimentos. El lector debe reconocer que a medida que aumenta el grosor de la HMA más allá de 4 pulgadas, los esfuerzos de tracción generados en la parte inferior de la capa de HMA se reducen con un espesor de HMA en aumento. Por lo tanto, es lógico que a medida que el espesor de HMA se incrementa más allá de una capa de 4 pulgadas, la resistencia a la fatiga está

directamente aumentada debido a un valor de elongación más pequeño que ocurre en el sistema del pavimento. Sin embargo, el hecho realmente importante que hay que reconocer es que la magnitud de la deformación por tracción no necesariamente aumenta proporcionalmente a la disminución de espesor HMA. De hecho, como el espesor de HMA se reduce por debajo del máximo "nivel de formación de grietas de 3 a 5 pulg", los esfuerzos de tracción en realidad comienzan a disminuir y, de hecho, puede en realidad ser la naturaleza de la compresión. Así, en capas muy delgadas HMA, hay poca o ninguna resistencia a la tracción o deformaciones que se pueden encontrar en la parte inferior de la capa de HMA. Esto explica claramente por qué, el comportamiento de la fatiga puede mejorar con la disminución de los niveles de espesor de HMA.

Aunque esto es cierto, el lector debe reconocer también que, aunque delgadas capas de HMA no pueden tener importantes problemas de fatiga, otros tipos de dificultades importantes, en particular, las deformaciones de corte repetitivo, es lo que lleva a la deformación permanente o ahuellamiento excesivo de convertirse en las consideraciones de diseño más importantes para estos tipos de pavimentos. Una de las desventajas de un sistema de pavimento que tiene un espesor de capa de HMA muy pequeño, es el hecho de que el estado de tensión en las capas no consolidadas (bases, sub-bases y explanadas) es mucho mayor y por lo tanto aumenta la probabilidad de formación de surcos en estas capas no consolidadas, cubiertas por delgadas capas de HMA. Estos factores deben ser cuidadosamente ponderados cuando se trata de utilizar capas finas de HMA en el diseño.

#### **3.3.2.5.2.2.- HMA espesor y coeficiente de balasto en el fisuramiento Longitudinal**

Un estudio similar indica la influencia del espesor de HMA; el coeficiente de balasto al agrietamiento longitudinal se muestra en la figura 3.3.23. Una comparación inmediata del efecto del espesor de HMA y agrietamiento de la superficie longitudinal muestran efectos similares, en comparación con las grietas de piel de cocodrilo. En general, los daños por fatiga son máximos del 3 al 5 en el nivel de espesor de HMA. Por lo tanto, ambos modos de falla son más grandes para el intermedio (3 a 5 pulgadas) de rango de espesor HMA.

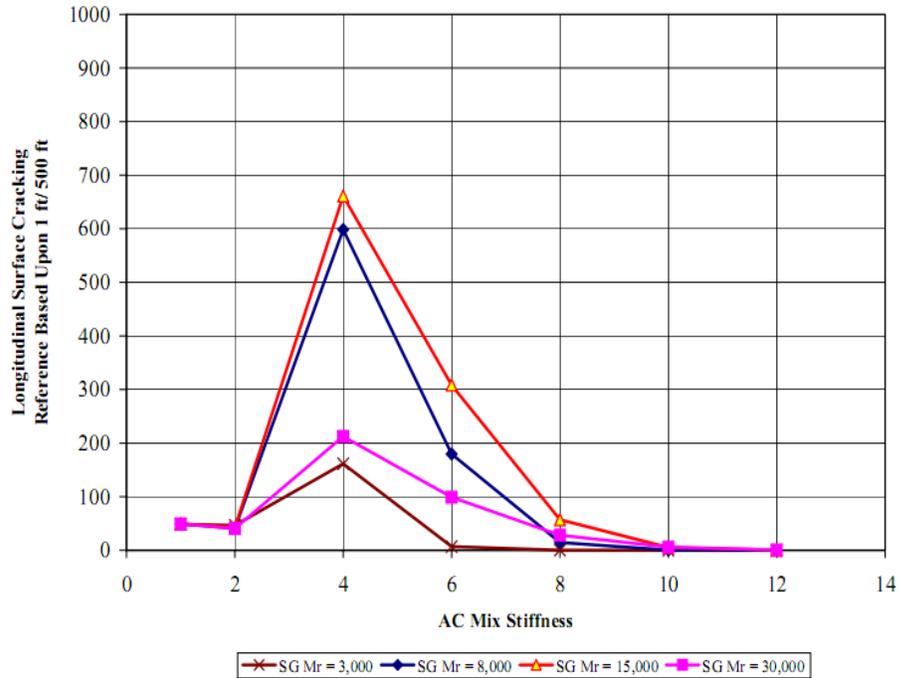


Figure 3.3.23. Effect of HMA layer thickness on longitudinal surface fatigue cracking (High E\*).

Figura 3.3.23 Efecto del espesor de la capa de HMA en el fisuramiento logintudinal

**Fuente: AASHTO 2008**

### 3.3.2.5.3.- Procedimiento para la predicción del fisuramiento por fatiga

Para predecir la carga asociada con el fisuramiento por fatiga en pavimentos flexibles, ciertos pasos son necesarios a seguir. Estos pasos se resumen a continuación:

- Tabular datos de entrada - un resumen de todos los insumos necesarios para la predicción de formación de grietas.
- Proceso de datos de tráfico - los datos de tráfico tiene que ser procesados para determinar el número equivalente de carga de eje simple, doble, y trídem.
- Procesamiento de datos del perfil de temperatura del pavimento - la temperatura del pavimento por hora, los perfiles generados usando EICM (distribución lineal) deben ser convertidos a la distribución lineal equivalente de las diferencias de temperatura por mes calendario.
- Proceso de datos de la condición mensual de humedad - los efectos de los cambios estacionales en las condiciones de humedad en el módulo de base / subrasante debe ser determinado.
- Calcular la tensión y los estados de esfuerzo - calcular esfuerzos de tracción

correspondientes a cada carga, nivel de carga, posición de carga, y la diferencia de temperatura para cada mes dentro del período de diseño en la superficie y en el fondo de cada capa del pavimento. Utilizando material de módulo y el coeficiente de Poisson, se determina las tensiones elásticas en cada punto de cálculo. Calcular el daño para cada sub-estación y el daño acumulado en cada capa de asfalto.

- Calcular agrietamiento por fatiga - calcular la formación de grietas para cada capa.

### 3.3.2.5.3.1- Proceso de datos del perfil de temperatura

Una unidad básica de un mes se suele utilizar para los cálculos de los daños. En situaciones en las que está expuesto el suelo a los ciclos de congelación y descongelación, la unidad básica de un mes se cambia a 15 días (mes y medio) la duración para dar cuenta de los rápidos cambios en las propiedades del material del pavimento durante el período de heladas / deshielo. Mientras que los cálculos de daños se basan en una temperatura media de dos semanas o cada mes, la influencia de la temperatura extrema por encima y por debajo de la media, están directamente tomadas en cuenta en el análisis del diseño. Para incluir en las temperaturas extremas durante un mes determinado (o durante 15 días por período de congelación / descongelación), el método utiliza lo siguiente: la secuencia de la solución de la EICM ofrece datos de temperatura a intervalos de 0,1 horas (6 minutos) durante el período de análisis. Esta distribución de la temperatura para un mes determinado (o de 15 días) puede ser representada por una distribución normal con un valor medio determinado ( $\mu$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ),  $N(\mu, \sigma)$  como se muestra en la figura 3.3.24.

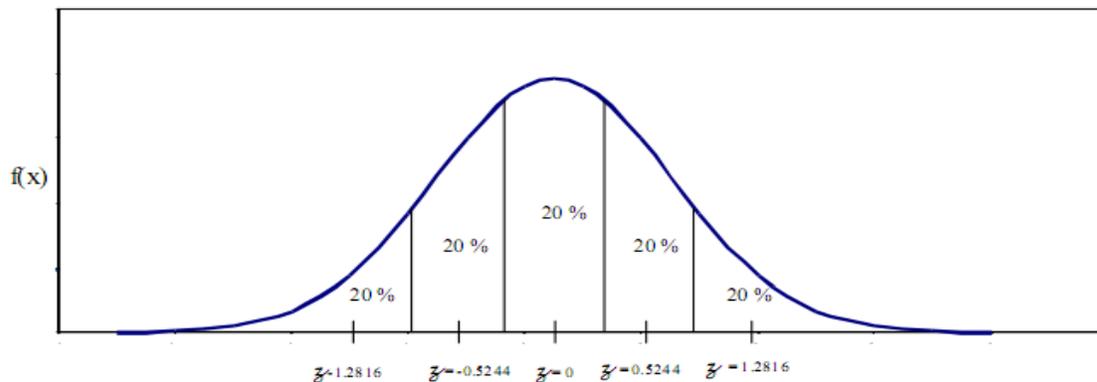


Figure 3.3.24. Temperature distribution for a given analysis period

Figura 3.3.24 Distribucion de temperatura para el periodo de análisis dado

**Fuente: AASHTO 2008**

La distribución de frecuencias de los datos de temperatura obtenidos de la EICM supone que es una distribución normal como se muestra en la figura 3.3.24. El diagrama de frecuencias obtenido de la EICM representa la distribución a una profundidad específica y tiempo. Las temperaturas en un determinado mes (o cada dos meses por las heladas / deshielo) pueden tener temperaturas extremas (incluso a una baja frecuencia de ocurrencia) que podrían ser importantes para la formación de roderas. Es obvio que el uso del valor de la temperatura media no captará los daños causados por estas temperaturas extremas. Con el fin de dar cuenta de los extremos de temperatura, las temperaturas en un intervalo dado se dividen en cinco diferentes sub-estaciones. Para cada temporada sub-la temperatura sub-capas se define por una temperatura que representa el 20% de la frecuencia de distribución de la temperatura del pavimento. Esta temporada sub-también representan las condiciones en las que el 20 por ciento del tráfico mensual se producirá. Esto se logra mediante el cálculo de la temperatura del pavimento correspondiente al estándar de desviaciones normales de -1.2816, -0.5244, 0, 0.5244 y 1.2816. Estos valores corresponden a las frecuencias acumuladas de los 10 %, 30 %, 50 %, 70 %, y 90% dentro de un mes determinado.

#### **3.3.2.5.3.2.- Calcular la tensión de tracción crítica**

Es necesario utilizar el modelo de respuesta del pavimento de la estructura del pavimento en capas para el cálculo de tensiones en todos los casos que necesitan ser analizados. El número de casos depende del incremento de los daños. Los incrementos se consideran:

- Edad del pavimento - por año.
- Temporada - por mes o medio-mes.
- Configuración de la carga - tipo de eje.
- El nivel de carga - niveles discretos de carga en incrementos de 1.000 a 3.000 libras, dependiendo del tipo de eje.
- Temperatura - temperatura del pavimento para el módulo de HMA dinámico.

#### **3.3.2.5.4.- Los incrementos de los daños y el cálculo de la tensión**

Dada una determinada sección transversal de las capas del pavimento, las tensiones se calculan en cada punto del pavimento a través de una respuesta computacional predefinida, por el conocimiento del estado de esfuerzos en tres dimensiones y las propiedades elásticas

(módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson) de la capa de HMA de la siguiente forma:

$$\varepsilon_{rx,y} = \frac{1}{E^*} (\sigma_{x,y} - \mu\sigma_{x,y} - \mu\sigma_z) \quad (3.3.32)$$

El módulo complejo de las mezclas asfálticas se emplea en la Guía de Diseño a través de una curva maestra. Por lo tanto, E \* se expresa en función de las propiedades de la mezcla, la temperatura y el tiempo del pulso de carga.

El conocimiento de la predicción de esfuerzo de tracción horizontal en cualquier punto, junto con la capa de módulo dinámico y Nf repetición de relación, permite el cálculo directo de los daños de cualquier capa de asfalto, después de n repeticiones de carga, en la dirección x e y para ser computados. El daño para cada capa de HMA se calcula utilizando la ecuación 3.3.33.

$$D = \frac{n_i}{N_{fi}} \quad (3.3.33)$$

Donde:

$n_i$  = Tráfico actual por el periodo i.

$N_{fi}$  = Tráfico permitido bajo las condiciones prevalecientes en el periodo i

#### **3.3.2.5.5.- Cálculo del agrietamiento por fatiga**

Desde el daño acumulado calculado para cada mes (período de análisis) para cada capa de asfalto, el agrietamiento por fatiga prevé el uso de la función descrita anteriormente en esta sección. El agrietamiento de arriba hacia abajo se calcula utilizando el máximo daño acumulado en la superficie de la capa de asfalto superior. El agrietamiento de abajo hacia arriba se calcula utilizando el máximo daño acumulado en la parte inferior de la capa más baja del asfalto.

#### **3.3.2.5.6.- Fiabilidad del agrietamiento por fatiga**

El diseño de la confiabilidad se obtiene mediante la determinación de la carga por fatiga prevista asociado a un nivel deseado de fiabilidad de la siguiente manera:

$$FC\_P = (FC_i + Se_{FCi} * Z_p) \quad (3.3.34)$$

Donde:

FC\_P = Agrietamiento previsto al nivel de fiabilidad P, % o pies/milla

FC\_i = Agrietamiento previsto basado en las aportaciones medias (correspondiente de 50%

de fiabilidad), % o pies/milla

$Se_{FCi}$  = Error estándar del agrietamiento previsto al nivel medio de agrietamiento

$Z_p$  = Desviación normal estándar.

$$Se_{FCBottom} = 0.5 + 12 / (1 + e^{1.308 - 2.949 * \log D}) \quad (3.3.35a)$$

$$Se_{FCTop} = 200 + 2300 / (1 + e^{1.072 - 2.1654 * \log D}) \quad (3.3.35b)$$

### **3.3.2.5.7.- Modificación de diseño flexible para reducir la fisuración por fatiga**

#### **3.3.2.5.7.1.-Agrietamiento de piel de cocodrilo (ascendente)**

A partir de la base de datos LTPP, se ha observado que el mayor grado de agrietamiento de cocodrilo por lo general ocurre en las capas de HMA entre 3 – 5 pulgadas de espesor. Así, de una manera muy lógica por la cual se puede reducir las grietas de piel de cocodrilo es simplemente incrementar el espesor total de las capas de HMA. El uso de capas delgadas de HMA se puede utilizar siempre que se tenga cuidado extremo en la rigidez (curva maestra) de las propiedades de la capa de HMA utilizados. En teoría esto es verdad. Sin embargo, el uso de capas delgadas HMA (menos de 3 - y 4-pulgadas) puede dar lugar a una serie de otras fallas potenciales asociados con la deformación permanente (ahuellamiento) en las capas no consolidadas base / sub-base que más afectan a las posibles ventajas con delgadas capas HMA. Es importante reconocer que la variable del espesor de la capa de HMA y la mezcla HMA de la rigidez se integran directamente en conjunto para lograr una mezcla de óptima resistencia a la fatiga. Si las capas delgadas de HMA se utilizan, es muy conveniente disponer de una baja rigidez (baja  $E^*$ ) del material. La presencia de capa delgada, HMA muy rígido, son altamente susceptibles a la rotura por piel de cocodrilo. Por el contrario, como las capas más gruesas HMA se utilizan, el ingeniero de pavimento debe tratar de utilizar la más alta rigidez ( $E^*$  alto) HMA posible. Esto tenderá a disminuir las tensiones de tracción crítica en la parte inferior de la capa de HMA y mejorar la resistencia de la estructura a la rotura por piel de cocodrilo.

Además de los atributos generales de la rigidez de la mezcla total ( $E^*$ ) en la formación de grietas de cocodrilo, es muy importante tener en cuenta también que dos propiedades volumétricas de la mezcla también juegan un papel importante en el gobierno del daño por fatiga. Para cualquier mezcla particular, mayor será la  $V_{beff}$  (volumen efectivo de asfalto) y menor la  $V_a$  (burbujas de aire), dará lugar a un aumento significativo de la resistencia a la

fatiga HMA. Mientras que la discusión previa se han centrado principalmente en las propiedades / atributos de las capas de HMA, el ingeniero debe entender claramente que grietas de cocodrilo, daños por fatiga, se relaciona fundamentalmente con la relación  $E_i / E_{i+1}$ , en relación con la rigidez de la capa de HMA ( $E_i$ ) y subcapas no consolidados ( $E_{i+1}$ ) por debajo de la capa de HMA. Por tanto, cualquier cambio estructural del pavimento que reduzcan  $E_i / E_{i+1}$  en una proporción significativa disminuirá la probabilidad de daños por fatiga. Como resultado, los cambios que aumentan la rigidez de la base (es decir, la estabilización química, el uso de una mayor calidad / rígido capas, o aumentando el espesor de alta calidad, capas no consolidadas base / sub-base) mejorará la resistencia a la fatiga de grietas de arriba hacia abajo del sistema del pavimento.

Finalmente, como la rigidez de los materiales no consolidados de la capa de base / sub-base y sub-base puede ser significativamente afectada por la presencia de humedad, el uso del diseño de drenajes positivos, la reducción de la GWT (nivel freático) y / o elevar el grado de distancia de la actual GWT de proporcionar beneficios a la reducción / eliminación de grietas cocodrilo por fatiga.

#### **3.3.2.5.7.2.-Agrietamiento longitudinal (de arriba abajo)**

La influencia global de la superficie longitudinal, por agrietamiento por fatiga, en función del espesor de HMA, es conceptualmente idéntico al efecto de grietas piel de cocodrilo; en general, ambas formas de grietas parecen ser más significativas en el espesor de la capa de HMA entre 3 y 5 pulgadas. Mientras que la menor mezcla de aire y vacíos ( $V_a$ ) y una mayor cantidad de cemento asfáltico ( $V_{beff}$ ) también aumentará la resistencia a la fatiga de grietas longitudinales. El ingeniero debe evaluar cuidadosamente los materiales utilizados en el pavimento para un verdadero compromiso, usando fallas, por supuesto, también causadas por la deformación permanente y térmica. Como principio fundamental, las grietas en la superficie longitudinal se pueden aumentar con el uso de mezclas de menor rigidez. Esto se debe directamente al hecho de que las grandes tensiones superficiales de tracción se producen en esta menor rigidez HMA. Las diferencias en el apoyo de la fundación y su efecto sobre el agrietamiento por la piel de cocodrilo (de abajo hacia arriba) y agrietamiento longitudinal de la superficie (de arriba hacia abajo) son elementos clave que el ingeniero debe apreciar y entender. En general, la presencia de capas gruesas y / o

rigidez en la parte superior de la sección transversal de pavimento tienden a causar un aumento en deformación superficial y por lo tanto a la tracción longitudinal de grietas en la superficie. Esto es completamente una tendencia contraria a la formación de grietas de piel de cocodrilo, fundaciones débiles tienden a causar grandes deformaciones por tracción de superficie y grietas longitudinales. Si el agrietamiento de la superficie longitudinal es una posibilidad, el ingeniero debe evaluar cuidadosamente las propiedades de la capa de HMA y asegurar que todos los tipos de posibles dificultades sean minimizados de la mejor manera posible. Finalmente, el ingeniero debe reconocer que la posibilidad de elegir entre fisuras en la superficie longitudinal y grietas de cocodrilo, que normalmente se recomienda seleccionar grietas en la superficie longitudinal que grietas piel de cocodrilo. La razón de esto es debido al hecho de que la presencia eventual de grietas en la superficie (de arriba hacia abajo), así como la deformación permanente en las capas superiores de HMA, siempre se pueden suponer en las estrategias futuras rehabilitaciones.

### **3.3.3.3.-Fractura térmica (Arietamiento Transversal)**

El modelo de fisuramiento térmico en la Guía de Diseño es una versión mejorada del enfoque desarrollado originalmente bajo el SHRP A-005 de investigación por contrato. Recientemente, un estudio se completó bajo la NCHRP 19.9 "Superpave modelos" de proyectos que faciliten la incorporación de este modelo de fisuramiento térmico (TCMODEL) y el software relacionado para su uso en la Guía de Diseño. Varios cambios se han realizado importantes a la TCMODEL original y software. Estas mejoras incluyen la incorporación de una técnica de análisis mejorada para la conversión de datos en bruto del ensayo de tracción indirecta Superpave (IDT) en las propiedades visco elásticas fundamentales de la mezcla asfáltica, la recalibración de la TCMODEL actualizado para reflejar los procedimientos de análisis y otros nuevos datos de campo, y el desarrollo de la documentación completa para el abordaje TCMODEL.

#### **3.3.3.3.1.-Modelo de agrietamiento térmico**

La cantidad de grietas transversales esperada en el sistema de pavimentación se predice al relacionar la profundidad de la grieta a una cantidad de grietas (frecuencia de agrietamiento) por la siguiente expresión:

$$C_f = \beta_1 * N\left(\frac{\log C / h_{ac}}{\sigma}\right) \quad (3.3.40)$$

Donde:

$C_f$  = Cantidad observada de agrietamiento térmico.

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión determinada por calibración de campo.

$N(z)$  = Distribución normal estándar evaluada en (z)

$\sigma$  = La desviación estándar del logaritmo de la profundidad de grietas en el pavimento.

$C$  = Profundidad de grieta

$h_{ac}$  = Espesor de la capa de asfalto

La cantidad de propagación de grietas inducidas por un ciclo de refrigeración térmica dada se prevé utilizar en la ley de propagación de París:

$$\Delta C = A \Delta K^n \quad (3.3.41)$$

$\Delta C$  = Cambio en la profundidad de la grieta debido a un ciclo de enfriamiento.

$\Delta K$  = Cambio en el factor de intensidad de tensiones debido a un ciclo de enfriamiento

$A, n$  = Parámetros de fractura de la mezcla de asfalto

El enfoque utilizado para evaluar los parámetros  $A$  y  $n$  se basa, en parte, en trabajos anteriores (14, 15,16). Recordando que la curva de fluencia maestro de cumplimiento puede ser expresado por la función de potencia de rendimiento:

$$D(\zeta) = D_0 + D_1 \zeta^m \quad (3.3.42)$$

El valor de  $m$ , derivada de la curva de cumplimiento se utiliza para calcular la fractura del parámetro  $n$  a través de la ecuación:

$$n = 0.8 \left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (3.3.43)$$

Una vez que el valor de  $n$  que se conoce, el parámetro se calcula una fractura de la ecuación:

$$A = 10^{\left(\beta * (4.389 - 2.52 * \log(E * \sigma_m * n))\right)} \quad (3.3.44)$$

Donde:

$E$  = Rigidez de la mezcla

$\sigma_m$  = Resistencia en buen estado de la mezcla a la tracción.

$\beta$  = Parámetro de calibración

Para la calibración nacional, los parámetros recomendados para los tres niveles jerárquicos basados en los datos disponibles, se resumen en la tabla 3.3.2.

**Tabla 3.3.2. Parámetros de calibración nacional para el modelo de agrietamiento térmico**

Nivel jerárquico	$\beta_1$	$\sigma$	E	$\beta$
1	400	0.769	10,000	5.0
2	400	0.769	10,000	1.5
3	400	0.769	10,000	3

Fuente: AASHTO 2008

Para todos los niveles jerárquicos, además de las muestras de campo original y térmica de observaciones de grietas de 22 secciones de pavimento SHRP General (GPS) utilizados en el estudio original de calibración SHRP de la TCMODEL, 14 canadienses SHRP (C-SHRP) y 5 secciones MnROAD fueron utilizados en la re-calibración de los TCMODEL utilizados en la Guía. A pesar de la re calibración incluye varias modificaciones y análisis de casi el doble de las secciones de muchos campos, los parámetros del modelo calibrado de nuevo se encontraron a ser muy similares a los parámetros desarrollados en el estudio SHRP original.

### 3.3.3.3.2.-Modelado de la respuesta estructural de agrietamiento térmico

Los siguientes factores afectan la magnitud de la predicción de agrietamiento térmico en la capa HMA:

- Temperatura y profundidad en el perfil de la capa de asfalto
- Fluencia de cumplimiento
- El cumplimiento de la pérdida de temperatura de prueba
- Resistencia a la tracción
- Mezcla VMA
- Coeficiente Global de la contracción térmica
- Mix coeficiente de contracción térmica
- HMA espesor de la capa
- Burbujas de aire
- Los vacíos llenos de asfalto, VFA
- Intersección de una carpeta de viscosidad-temperatura relación a condición RTFO

- Penetración a los 77 °F

Mientras que la mayoría de los parámetros anteriores se mantienen constantes durante todo el período de diseño (por ejemplo, el espesor de la capa), otros varían según la temporada o con la edad del pavimento. Para obtener resultados precisos de análisis térmico, todos los casos que producen tensiones significativamente diferentes deberán evaluarse por separado. El incremento de agrietamiento térmico se define en esta guía se determinó igual a un mes para dar cuenta de los casos de la siguiente manera:

- Temperatura y la profundidad en el perfil de la capa de asfalto - La metodología de enfoque general que se utiliza en el modelo de predicción de agrietamiento térmico, utiliza la falla EICM como el algoritmo del clima para determinar el perfil de temperatura a profundidad dentro de la capa de asfalto a intervalos de tiempo cada hora durante todo el período de análisis (20 a 30 años). Se permite la predicción de tensiones térmicas en cualquier profundidad y tiempo dentro de la capa de asfalto.
- Fluencia de cumplimiento - Evaluado a temperaturas de 0, -10, y -20 ° C (32,14 y -4 ° F), es el responsable lineal de las propiedades visco-elásticas en que se basa el análisis de agrietamiento térmico. Permite obtener los parámetros de fractura utilizados para calcular el crecimiento de la longitud de la grieta térmica.
- Resistencia a la tracción - medida indirecta que también es responsable de las propiedades visco-elástico lineal en que se basa el análisis de agrietamiento térmico. Permite la obtención de los parámetros de fractura utilizados para calcular el crecimiento de la longitud de la grieta térmica.

#### **3.3.3.3.3.- Procedimiento de predicción de agrietamiento térmico**

Para determinar la cantidad de productos de agrietamiento térmico, el siguiente paso a paso del procedimiento es:

- La recopilación de datos de entrada - Un resumen de todos los insumos necesarios para la predicción de formación de grietas térmicas.
- El desarrollo de la curva maestra de cumplimiento - Un análisis de datos técnicos mejorados se proporciona en el programa Master.
- Predicción de tensión térmica - Uso de la teoría visco-elástica de la transformación; el cumplimiento puede estar relacionado con el módulo de relajación de la mezcla

asfáltica. El conocimiento de este parámetro, junto con los datos de temperatura obtenidos del modelo EICM, permite la predicción del agrietamiento térmico en cualquier profundidad dada y el tiempo dentro de la capa de asfalto. Esto se logra mediante el TCMODEL del programa.

- Crecimiento de la grieta de longitud de cálculo térmico - Ley de París; se utiliza para calcular el crecimiento de la longitud de la grieta térmica dentro de la capa de asfalto.
- Duración de la computación de grietas térmicas

### **Paso 1: Recolección de datos de entrada**

El enfoque de agrietamiento térmico desarrollado requiere la caracterización de mezclas de asfalto en tracción indirecta (IDT) de modo. Debido a que el análisis de la fractura térmica se basa en la visco-elasticidad lineal clave, de las propiedades visco elásticas de la mezcla asfáltica que se mide. Estas propiedades miden el cumplimiento de la fluencia, mediante pruebas de resistencia a la tracción indirecta en una o tres temperaturas, dependiendo del nivel de análisis (0, -10, y -20 ° C o 32, 14 y -4 ° F), y la resistencia a tracción indirecta evaluado a una sola temperatura (-10 °C).

Para el análisis de nivel 1, los insumos requeridos son valores que arrastran el cumplimiento de tres temperaturas, mientras que el nivel 2 requiere el cumplimiento de los valores a una sola temperatura (-10 ° C). Para el nivel 3, no se requieren pruebas y el cumplimiento de los valores típicos está codificado para las típicas propiedades de mezcla asfáltica. Estos valores típicos son el resultado de cientos de pruebas que se llevó a cabo en diferentes combinaciones en los últimos años. En esta situación, la Guía de diseño de software sólo requiere propiedades de mezcla de asfalto, tales como huecos de aire, VMA, VFA, y Pen<sub>77f</sub>. Los requisitos específicos de pruebas de laboratorio para la aplicación de la TCMODEL debe seguir cuidadosamente los protocolos desarrollados por Roque et al. Utilizando el sistema de Resistencia a la tracción indirecta (17). El enfoque de las pruebas recomendadas utiliza varios datos específicos de las pruebas-análisis de los conceptos que deben ser observadas. El enfoque de las pruebas indirectas se base en el uso de controles sobre muestras LVDT 's montado tanto en el eje horizontal y vertical de la muestra. Este sistema se coloca en ambos lados (caras) de la muestra.

Un aspecto muy importante del proceso de desarrollo tiene que ver con el hecho de que una serie de factores de corrección se han desarrollado para el conjunto de ecuaciones; normalmente se utiliza para medir (calcular) tensiones, deformaciones, el cumplimiento, la fuerza e incluso la relación de Poisson. Estos factores de corrección se han desarrollado a partir de un análisis 3D FEM del ensayo de tracción indirecta. Son necesarias y justificadas para dar cuenta de la salida real de la respuesta ejemplar de la supuesta e idealizado caso de tensión plana en 2D que tradicionalmente se ha utilizado para interpretar los resultados indirectos de prueba. Mientras que el cumplimiento de la fluencia,  $D(t)$ , por un idealizado estado biaxial estado de tensiones son obtenidos a través de la ley de Hooke y es la siguiente:

$$D(t) = \frac{\varepsilon_x}{\sigma_x - \mu\sigma_y} \quad (3.3.45)$$

El factor de corrección FEM 3D desarrollado por Roque et al. está dada por:

$$D(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma} = \frac{H_m(t) * D * t}{P * GL} (C_{cmpl}) \quad (3.3.46)$$

Donde:

$$C_{CMPL} = \frac{1.071 * \pi * C_{ax}}{2(C_{sx} + 3\mu C_{sy})} \quad (3.3.47)$$

$D(t)$  = Respuesta del cumplimiento de fluencia en el tiempo  $t$ .

$H_m(t)$  = Deflexión horizontal medida en el tiempo  $t$ .

$GL$  = La longitud del indicador (= 25,4 mm para 101,6 mm de diámetro, = 38,1 mm para 152,4 mm de diámetro.).

$P$  = fluencia de la carga.

$t$  = Espesor de la muestra

$D$  = Diámetro de la muestra

$\mu$  = El coeficiente de Poisson

$C_{cmpl}$ ,  $C_{SX}$ ,  $C_{SY}$ ,  $C_{BX}$  = Factores de corrección para cumplimiento de fluencia no dimensional, el factor de corrección de la tensión horizontal, vertical, factor de corrección de la tensión, y el factor de abultamiento horizontal, respectivamente.

Las ecuaciones de los factores de corrección son los siguientes:

$$C_{CMPL} = 0.6354 \left(\frac{X}{Y}\right)^{-1} - 0.0332 \quad (3.3.48)$$

Con el factor restringido a los límites de:

$$0.20 \leq t/D \leq 0.65 \quad (3.3.49)$$

$$\left[ 0.704 - 0.213 \left( \frac{t}{D} \right) \right] \leq C_{CMPL} \leq \left[ 1.566 - 0.195 \left( \frac{t}{D} \right) \right] \quad (3.3.50)$$

$$C_{SX} = 0.948 - 0.01114(t/D) - 0.2693 (\mu) + 1.436 (t/D)(\mu) \quad (3.3.51)$$

$$C_{SY} = 0.901 + 0.138(\mu) + 0.287(t/D) - 0.251(\mu)(t/D) - 0.264(t/D)^2 \quad (3.3.52)$$

Y

$$C_{SX} = 1.03 - 0.189(t/D) - 0.081(\mu) + 0.089(t/D)^2 \quad (3.3.53)$$

El valor de (X / Y) representa el valor absoluto de la razón de deflexión horizontal medida a la deflexión vertical. Como tal, también se utiliza para calcular la relación de Poisson del material durante la prueba:

$$\mu = -0.10 + 1.480 \left( \frac{X}{Y} \right)^2 - 0.778 \left( \frac{X}{Y} \right) \quad (3.3.54)$$

Con:

$$0.05 \leq \mu \leq 0.5$$

El protocolo recientemente revisado para las pruebas de cumplimiento de fluencia se basa en el uso de un ensayo de fluencia de 100 segundos. En general, las tres muestras repetidas ponen a prueba a las tres temperaturas, se ha señalado anteriormente, para el nivel 1 y en una temperatura para el nivel 2.

Para el Nivel 3 de análisis, el cumplimiento de fluencia se obtiene a partir de correlaciones volumétricas y propiedades de la mezcla.

La respuesta del cumplimiento de la fluencia en el tiempo t, se puede escribir como:

$$D(t) = D_1 t^m \quad (3.3.55)$$

Donde:  $D_t, m$  = Coeficientes de fractura

$t$  = Tiempo de carga en segundos

La correlación para el parámetro de fractura  $D_1$  es la siguiente:

$$\log(D_1) = -0.85241 + 0.01306T + 0.7957 \log(V_a) + 2.0103 \log(VFA) - 1.923 \log(A_{RTFO}) \quad (3.3.56)$$

Donde:  $T$  = Temperatura de prueba ( $^{\circ}C$ )(i.e., 0, -10, y  $-20^{\circ}C$ )

$V_a$  = Burbujas de aire (%)

$$VFA = \text{Vacío llenado con asfalto (\%)} = \frac{V_{beff}}{V_{beff} + V_a} * 100$$

$V_{beff}$  = Contenido de aglutinante efectivo, %

$A_{RTFO}$  = Intersección de aglutinante con la relación viscosidad-temperatura con la condición RTFO.

Para el parámetro m, la correlación usada es:

$$m = 1.1628 - 0.00185T - 0.04596V_a - 0.01126VFA + 0.00247Pen_{77} + 0.001683Pen_{77} + 0.001683Pen_{77}^{0.4605}T \quad (3.3.57)$$

Donde:

T = Temperatura de prueba (°C)(i.e., 0, -10, y -20°C)

$V_a$  = Burbujas de aire (%)

VFA = Vacío llenado con asfalto (%)

$$Pen_{77} = \text{Penetración a } 77^\circ\text{F} = 10^{290.5013 - \sqrt{81177.288 + 257.0694 * 10^{(A + 2.72973 * VTF)}}$$

A = Intersección de aglutinante para la relación viscosidad-temperatura.

VTS = Pendiente del aglutinante para la relación viscosidad-temperatura

El resultado del valor m ha establecido un límite inferior de 0,01, para los tres niveles de entrada de datos, el procedimiento de diseño requiere resistencia a la tracción a -10°C. Nivel 1 y 2 requiere los datos de prueba reales de resistencia a la tracción, mientras que el nivel 3 se ha construido en los valores típicos basados en las propiedades del asfalto, similar a la fluencia de los valores de cumplimiento. Para los niveles 1 y 2, la prueba de fuerza se lleva a cabo en la muestra de la prueba misma que se utiliza para establecer el ensayo de fluencia, 100 segundos. Después de un ensayo de deformación se ha completado, el fracaso es evaluado utilizando una tasa de carga de 51 mm por minuto. La resistencia a la tracción se presenta por el promedio de las tres réplicas utilizadas.

En el protocolo de prueba que se recomienda, un procedimiento especial se utiliza para determinar la "carga de rotura" obtenida durante el ensayo de tracción indirecta. Esto es de nuevo una importante modificación, debido a que se ha encontrado que la carga de rotura es menos que la carga máxima que la muestra puede sufrir. Por lo tanto, una vez que el instante de la falla se encuentra (el enfoque utiliza la diferencia de medida de deformación), la carga de rotura se pueden definir y calcular la resistencia a la tracción de:

$$S_t = \frac{2P_f C_{SX}}{\pi D t} \quad (3.3.58)$$

Donde:

$P_f$  = Insuficiencia de carga

$C_{SX}$  = Factor de corrección (previamente definido)

$t$  = Espesor de la muestra.

$D$  = Diámetro de la muestra.

Para el nivel 3 el análisis de la resistencia a la tracción a  $-10^\circ \text{C}$  también se correlacionó con propiedades de la mezcla como con los parámetros de fractura de la fluencia de cumplimiento. Los mejores indicadores son los huecos de aire, el vacío lleno de contenido de asfalto, la penetración a  $77^\circ \text{F}$ , y la intersección A de la carpeta de la relación de temperatura-viscosidad a la condición RTFO. La siguiente correlación se utiliza en el análisis:

$$S_t = 7416.712 - 114.016V_a - 0.0304V_a^2 - 122.592VFA + 0.704VFA^2 + 405.711\log(Pen_{77}) - 2039.296\log(A_{RTFO}) \quad (3.3.59)$$

Donde la resistencia a la tracción ( $S_t$ ) se da en psi. El resultado de la ecuación se establece en un límite inferior de 100 psi, otros insumos requeridos son la duración del ensayo, el grosor de la capa de asfalto, y el coeficiente de contracción térmica. Para el coeficiente de contracción térmica, el programa tiene dos opciones.

La mezcla de los VMA, la contracción térmica y los valores agregados de asfalto de contracción térmica se requieren para estimar el coeficiente de mezcla de la contracción térmica o también el usuario puede entrar directamente con el valor del coeficiente de mezcla térmica.

## **Paso 2: Desarrollo de la curva maestra de cumplimiento de fluencia**

Mejoradas las técnicas de análisis de datos a través del nuevo programa master, se afirma se proporciona evaluaciones precisas del factor de desplazamiento de tiempo-temperatura (AT) y se desplazan a las técnicas de modelo de cumplimiento de estadísticas adecuado a través de Prony y formas de alimentación del modelo, así como el desarrollo de la curva de cumplimiento maestro fluencia (CCMC).

En este análisis, una base de datos especial "recortar" se utiliza para proporcionar la mejor estimación de los parámetros de mezcla de respuesta. Si las tres muestras utilizan réplicas,

cada una con mediciones en ambas caras, un total de seis cepas (de cumplimiento) en comparación con las curvas de tiempo, se pueden desarrollar. El enfoque de recorte recomienda la eliminación de las lecturas extremas de alta y baja y la utilización del promedio de las otras cuatro mediciones del tiempo de respuestas de deformación.

Finalmente, el nuevo procedimiento ya no requiere la rigidez de la carpeta para ampliar los resultados de cumplimiento de fluencia de la mezcla a tiempo de carga más para la construcción de la CCMC. Los resultados de los análisis de CCMC se ajustan a una serie de Prony que se define por:

$$D(\xi) = D(0) + \sum_{i=1}^N Di(1 - e^{-\xi/t_i} + \frac{\xi}{n_v}) \quad (3.3.60)$$

Con:

$$\xi = \frac{t}{a_T} \quad (3.3.61)$$

y

$\xi$  = Tiempo reducido

t = tiempo real

$a_T$  = Factor de cambio de temperatura.

$D(\xi)$  = Fluencia en el cumplimiento de la reducción del tiempo

$D(0)$ ,  $Di$ ,  $t_i$ ,  $n_v$  = Parámetros de serie de prony

Los resultados de la curva maestra de cumplimiento de fluencia también se ajustaron a un modelo de poder, definido por:

$$D(\xi) = D_0 + D_1 \xi^m \quad (3.3.62)$$

La razón para la determinación de un modelo adicional se debe al hecho de que el parámetro de la pendiente de energía, m, finalmente se utiliza para calcular la fractura de varios (la propagación de grietas) parámetros en el modelo de fractura

### **Paso 3: La predicción de estrés térmico**

Usando la teoría de la transformación visco elástico, el cumplimiento,  $D(t)$ , puede estar relacionado con el módulo de relajación,  $E_r$ , de la mezcla asfáltica. El conocimiento de este parámetro, junto con los datos de temperatura obtenidos del modelo EICM, permite la predicción de las tensiones térmicas en cualquier profundidad y tiempo dentro de la capa de

asfalto. La función de módulo de relajación se obtiene mediante la transformación de la función de cumplimiento fluencia. El módulo de relajación está representado por un modelo generalizado de Maxwell y expresa una relación de series de Prony:

$$E(\xi) = \sum_{i=1}^{N+1} E_i e^{-\xi/\lambda} \quad (3.3.63)$$

Donde:

$E(\xi)$  = Módulo de relajación en la reducción del tiempo

$E_i \lambda$  = Parámetros de la serie de Prony para la curva maestra del módulo de relajación (constantes de los resortes o los módulos y los tiempos de relajación de los elementos de Maxwell)

El conocimiento de la función módulo de relajación permite el cálculo de las tensiones térmicas en el pavimento de acuerdo con la ecuación constitutiva siguiente:

$$\sigma(\xi) = \int_0^{\xi} E(\xi - \xi') \frac{d\varepsilon}{d\xi'} d\xi' \quad (3.3.64)$$

Donde:

$\sigma(\xi)$  = Esfuerzo en el tiempo reducido  $\xi$

$E(\xi - \xi')$  = Módulo de relajación en el tiempo reducido  $\xi - \xi'$

$\varepsilon$  = Tensión en el tiempo reducido  $\xi (= \alpha(T(\xi') - T_0))$

$\alpha$  = Coeficiente lineal de contracción térmica

$T(\xi')$  = Temperatura del pavimento en el tiempo reducido  $\xi'$ .

$T_0$  = Temperatura del pavimento cuando  $\sigma = 0$

$\xi'$  = Variable de integración

#### **Paso 4: El crecimiento de la grieta de longitud de cálculo térmico**

La mecánica de la fractura (Ley de París) se utiliza para calcular el crecimiento de la longitud de la grieta térmica dentro de la capa de asfalto. Esto se logra mediante el conocimiento de los factores de intensidad de tensiones,  $K$ , así como los parámetros de fractura y un “ $n$ ” obtenida del cumplimiento de la fluencia y la resistencia de la mezcla. El TCMODEL se utiliza para predecir la cantidad de grietas transversales en la espera del sistema de pavimento. Como se señaló anteriormente, la entrada del clima y las propiedades visco elásticas (relajación cumplimiento de módulo) permiten el cálculo de la

tensión térmica, en un momento dado y su ubicación dentro de la capa de asfalto. Una vez logrado esto, la mecánica de fractura, en base a la Ley de París, se utiliza para calcular la intensidad de la tensión y las propiedades de fractura del material. El parámetro de intensidad de tensiones, K, ha sido formulado por el desarrollo de una ecuación simplificada basada en estudios teóricos y los resultados FEM. A partir de este análisis, se determinó que K puede estimarse a partir de:

$$K = \sigma(0.45 + 1.99C_0^{0.56}) \quad (3.3.65)$$

Donde:

K = Factor de intensidad de esfuerzo

$\sigma$  = Campo lejano de esfuerzo a partir del modelo de respuesta del pavimento en la profundidad de la punta de la grieta.

$C_0$  = Longitud de la grieta actual, (pies)

El modelo de propagación de grietas utilizado en el modelo de fractura térmica es:

$$\Delta C = A \Delta K^n \quad (3.3.66)$$

Donde:

$\Delta C$  = Cambio en la profundidad de la grieta debido a un ciclo de enfriamiento.

$\Delta K$  = Cambio en el factor de intensidad de esfuerzo debido a un ciclo de enfriamiento

A, n = Fractura de los parámetros de la mezcla asfáltica.

El enfoque utilizado para evaluar los parámetros A y n se basa, en parte, en trabajos anteriores (14,15,16). Recordando que la curva de fluencia maestro de cumplimiento puede ser expresada por la función de potencia de rendimiento:

$$D(\xi) = D_0 + D_i \xi^m \quad (3.3.67)$$

El valor de m, derivada de la curva de cumplimiento se utiliza para calcular el parámetro n de fractura a través de la ecuación:

$$n = 0.8 \left( 1 + \frac{1}{m} \right) \quad (3.3.68)$$

Una vez que el valor de n se conoce, el parámetro de fractura se calcula con la ecuación:

$$A = 10^{(\beta * (4.389 - 2.52 * \log_{10}(E * \sigma_m * n))} \quad (3.3.69)$$

Donde:

E = Rigidez de la mezcla, psi

$\sigma_m$  = Resistencia en buen estado de la mezcla a la tracción.

$\beta$  = Parámetro de calibración.

### **Paso 5: Duración de la computación grietas térmicas**

El grado de agrietamiento (expresado como la duración de la térmica transversal grietas que ocurren en una longitud de pavimento de 500 pies) se predice a partir de una supuesta relación entre la distribución de probabilidad del registro de la profundidad de las grietas de relación de HMA espesor de la capa y el porcentaje de grietas.

La relación de la profundidad de la grieta calcula que una cantidad de grietas (frecuencia de agrietamiento) está representada por la siguiente expresión:

$$C_f = \beta_1 * P_R(\log C > \log h_{ac}) \quad (3.3.70)$$

$$C_f = \beta_1 * N \left( \frac{\log C / h_{ac}}{\sigma} \right) \quad (3.3.71)$$

Donde:  $C_f$  = Cantidad observada de agrietamiento térmico.

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión determinado por la calibración de campo.

$N()$  = Distribución normal estándar evaluado a ( )

$\sigma$  = La desviación estándar del logaritmo en la profundidad de las grietas.

$C$  = Profundidad de grieta

$h_{ac}$  = Espesor de la capa de asfalto

#### **3.3.3.3.4.-Suposiciones del modelo de agrietamiento térmico**

La cantidad máxima de agrietamiento térmico asumido en el enfoque es:

$$C_{fmax} = 400 \text{ pies por } 500 \text{ pies de longitud del pavimento.}$$

Esto se traduce en una separación de las fisuras de un agrietamiento (completo de 12 pies de ancho de carril) por 15 pies de longitud de pavimento. Si bien este es el valor máximo supuesto, el modelo de predicción no puede más del 50 por ciento de este valor máximo, ya que el fracaso se produce cuando la profundidad de fisura media es igual a (llega) el espesor de la capa de asfalto.

#### **3.3.3.3.5.-La fiabilidad de agrietamiento térmico**

La calibración del modelo de fisuramiento térmico se llevó a cabo en 3 niveles jerárquicos de análisis, 42 secciones de pavimento PTI se utilizaron para la calibración, 22 secciones de

la base de datos GPS LTPP, 14 secciones del programa canadiense C-SHRP, una sección de Peoria, IL, y 5 células MnROAD del Departamento de Transporte de Minnesota.

La fiabilidad de la predicción de fisuramiento térmico se evaluó de dos maneras diferentes: mediante el uso de las temperaturas reales históricas de pavimento durante el período de diseño, y con temperaturas estimadas en base al promedio de los registros históricos. La predicción de craqueo térmico se comparó con el agrietamiento térmico y en mediciones de los errores de predicción encontrados.

El análisis de error para el nivel se muestra en las figuras 3.3.25 y 3.3.26. En el promedio de los errores de predicción se encontraron pies -9,0 y 16,2 metros de las primeras y segundas aproximaciones, respectivamente. Esta comparación ilustra el poder y la importancia de la introducción real de los datos históricos del clima para el período de diseño en lugar de datos estimados.

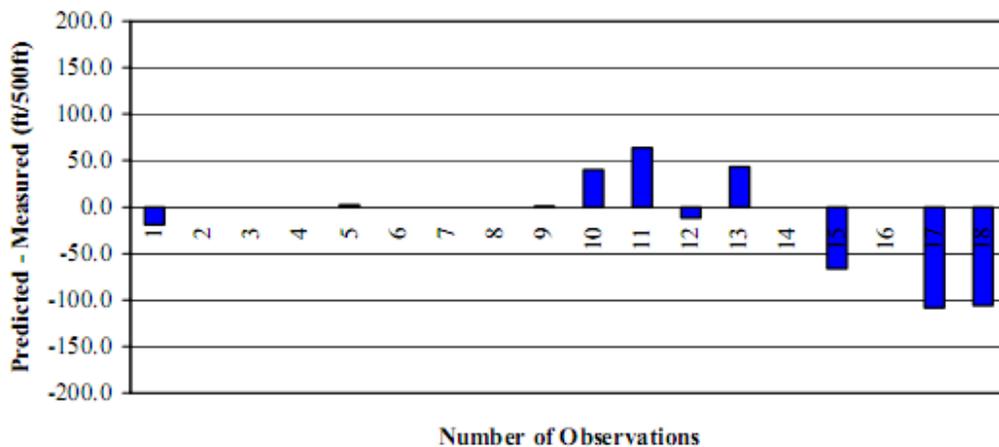


Figure 3.3.25. Level 1 prediction errors (actual pavement temperature).

Figura 3.3.25 Nivel 1 Errores de predicción (temperatura actual del pavimento)

**Fuente: AASHTO 2008**

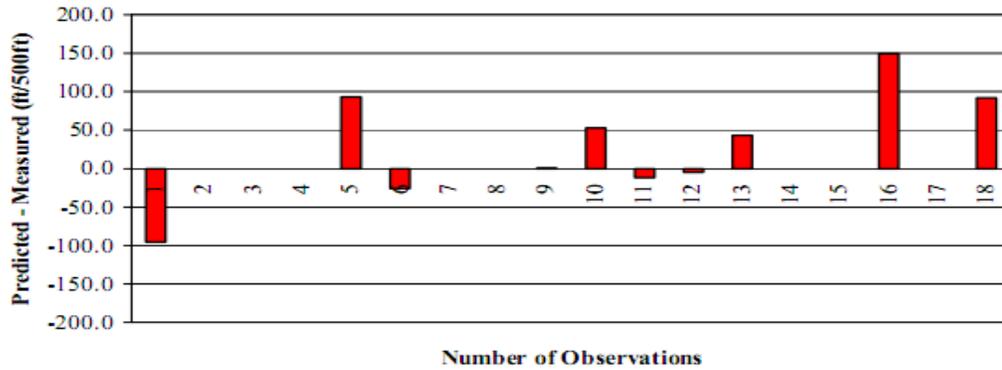


Figure 3.3.26. Level 1 prediction errors (estimated pavement temperatures based on historic data)

Figura 3.3.26 Nivel 1 errores de predicción (Estimaciones de temperatura del pavimento basado en datos históricos)

**Fuente: AASHTO 2008**

Para análisis de Nivel 2, los valores predcidos para grietas térmicas se han obtenido utilizando el mismo análisis descrito para el nivel 1. La predicción y el agrietamiento térmico medido y los errores de predicción se muestran en las figuras 3.3.27 y 3.3.28. Los errores de predicción promedio se encontraron en 30,1 metros y 49,7 metros de los enfoques de la primera y segunda, respectivamente. La diferencia en los errores pone de relieve la importancia de contar con temperaturas de entrada precisa y actual del pavimento.

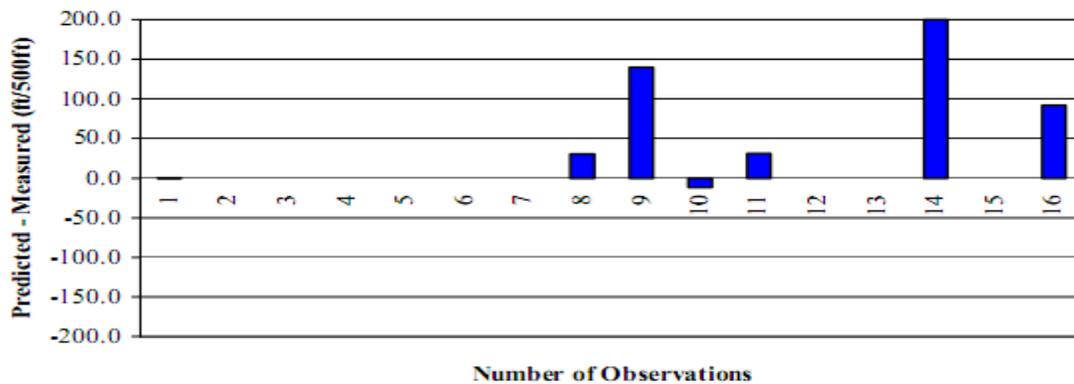


Figure 3.3.27. Level 2 prediction errors (actual pavement temperature)

Figura 3.3.27 Nivel 2 errores de predicción (temperatura actual del pavimento)

**Fuente: AASHTO 2008**

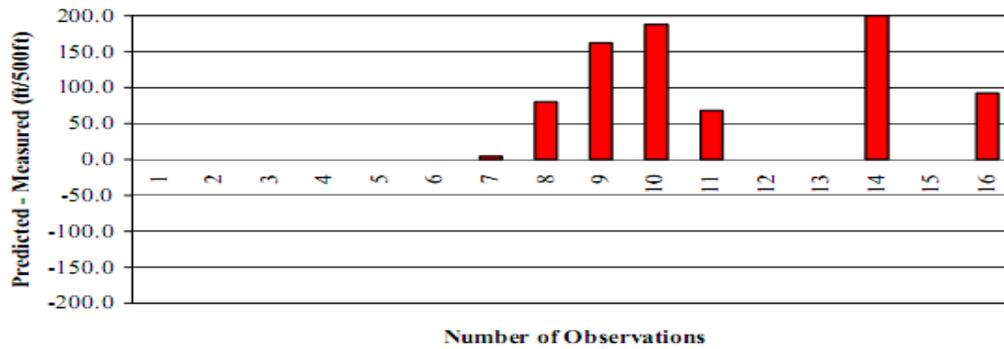


Figure 3.3.28. Level 2 prediction errors (estimated pavement temperatures based on historic data)

Figura 3.3.28 Nivel 2 errores de predicción (Estimaciones de temperatura del pavimento basado en datos históricos)

**Fuente: AASHTO 2008**

Los datos de las 36 LTPP (156 observaciones) secciones se recogió y el Nivel 3 de análisis se realizó con doce combinaciones diferentes: tres valores para el factor de ajuste en el parámetro de una fractura, sobre el Derecho de París ( $\beta = 1,0, 3,0$  y  $5,0$ ) y cuatro formas diferentes para determinar el craqueo térmico medido: Suma de agrietamiento de gravedad bajo, medio y alto (3a), Suma de Media y Alta (3b), los Altos Valores solamente (3c), y el uso de la media ponderada de los tres niveles de gravedad, como se muestra a continuación (3d):

$$Agriet.Tot.medido = \frac{Severida\ baja + 3Severidad\ media + 5severidad\ alta}{9} \quad (3.3.72)$$

El resumen de las estadísticas encontradas para todas las combinaciones se da en las tablas 3.3.3 a 3.3.5.

**Tabla 3.3.3. Resumen estadístico para la validación del modelo TC con LTPP sitios  $\beta = 1,0$ .**

Parámetro Estadístico	Nivel de análisis					
	1	2	3a	3b	3c	3d
Error medio de predicción	NA	NA	-71	-2.8	32	18.9
Desviación Estándar	NA	NA	137	103	82	80.1

**Fuente: AASHTO 2008**

**Tabla 3.3.4. Resumen estadístico para la validación del modelo TC con LTPP sitios**

$\beta = 3.0$

Parámetro Estadístico	Nivel de análisis					
	1	2	3a	3b	3c	3d
Error medio de predicción	NA	NA	-3	65	100.1	86.5
Desviación Estándar	NA	NA	120	102	95.14	87

**Fuente: AASHTO 2008**

**Tabla 3.3.5. Resumen estadístico para la validación del modelo TC con LTPP sitios**

$\beta = 5.0$

Parámetro Estadístico	Nivel de análisis					
	1	2	3a	3b	3c	3d
Error medio de predicción	NA	NA	13.2	81	116.3	102.7
Desviación Estándar	NA	NA	129.7	105.7	94.67	88.8

**Fuente: AASHTO 2008**

La distribución de frecuencia de los errores se trazó asociando con cada una de las combinaciones mencionadas anteriormente, y las parcelas se muestran en las figuras 3.3.29 a 3.3.31. Las mejores estimaciones y reducir las diferencias se encontraron con una ley de Paris factor de ajuste ( $\beta$ ) igual a 1,0 (sin ajuste) y utilizando el promedio ponderado de los tres diferentes niveles de severidad, siendo los resultados con  $\beta$  igual a 3.0, muy cerca. Como se muestra en las tablas 3.3.3 y 3.3.4, el error promedio y estándar de la estimación fue menor que la encontrada por el modelo de análisis de nivel inicial 3, utilizando los datos de PTI.

Sin embargo, un análisis de sensibilidad realizado en el Nivel 3 de análisis dado que el modelo ofrece las mejores predicciones cuando un factor  $\beta$  de 3,0 se está utilizando. Por lo tanto, este factor se decidió seguir con los modelos desarrollados. El error de predicción promedio y la desviación estándar se muestran en la tabla 3.3.4. Con base en los datos obtenidos para cada nivel de análisis, las siguientes relaciones se han desarrollado para el error estándar de la fiabilidad de fisuramiento térmico:

$$\text{Level 1: } Se_{TC\_1} = 0.2474 * \text{THERMAL} + 10.619 \quad (3.3.73a)$$

$$\text{Level 2: } Se_{TC_2} = 0.3371 * \text{THERMAL} + 14.468 \quad (3.3.73b)$$

$$\text{Level 3: } Se_{TC_3} = 0.6803 * \text{THERMAL} + 29.197 \quad (3.3.73c)$$

Donde:

$Se_{TC_i}$  = Error estándar de estimación para el agrietamiento térmico (ft/500ft) para el nivel de análisis i

THERMAL = Agrietamiento térmico previsto en ft/500ft

### **3.3.3.3.6.- Modificación de diseño para reducir el agrietamiento térmico**

El factor más importante que afecta el fisuramiento térmico es la rigidez de la mezcla. Con el fin de reducir el agrietamiento térmico previsto, el diseño debe ser modificado por la disminución de la rigidez de la mezcla y ejecutar el análisis de nuevo. Por lo general, esta es la más eficiente implementada por el uso de un grado PG menor que la inicialmente utilizada.

### **3.3.3.4.- Modelos suavidad (IRI)**

Varios estudios han modelado con éxito la suavidad para los tipos de falla del pavimento (8,12,19). Estos estudios han encontrado que la suavidad de pavimento flexible puede verse afectado significativamente por la formación de roderas, la variación de profundidad de rodadura y el agrietamiento por fatiga. Muchas de las fallas que se han correlacionado con la suavidad son de carga y relacionadas con el clima y se prevé con técnicas de modelización mecánica-empírica como se indica en las secciones anteriores de este capítulo (agrietamiento por fatiga, deformación permanente, y el agrietamiento térmico). Fallas tales como baches, grietas de bloques y grietas longitudinales también afectan la suavidad. Sin embargo, ya que la práctica actual no nos permite modelar estas fallas con principios mecanicistas-empíricos, en el procedimiento de Guía de diseño, a los diseñadores se les da la opción de entrar directamente en el potencial de la ocurrencia de tales fallas. En la pérdida de tersura, debido a los movimientos del suelo y otros factores climáticos (depresiones, levantamiento por helada, y la solución) también se consideran en la predicción de la rugosidad a través de la utilización de un "factor de sitio" plazo (representado por un grupo basado en la fundación y climáticas propiedades). Los modelos

para la predicción de IRI para el uso en el diseño de nuevos y la reconstrucción de pavimento flexible son una función del tipo de base como se describe a continuación

### 3.3.3.4.1.- Sin consolidar agregados de las bases y sub-bases

$$IRI = IRI_0 + 0.0463 \left[ SF \left( e^{\frac{age}{20}} - 1 \right) \right] + 0.00119(TC_L)_T + 0.1834(COV_{RD}) + 0.00384(FC)_T + 0.00736(BC)_T + 0.00115 \quad (3.3.74a)$$

IRI = IRI en cualquier momento dado, m/km

IRI<sub>0</sub> = IRI inicial, m/km

SF = Factor de sitio

$e^{\frac{age}{20}} - 1$  = edad plazo (donde la edad esta expresada en años)

COV<sub>RD</sub> = Coeficiente de variación de las profundidades de rodadura, en porcentaje (se supone que el 20 por ciento).

(TC<sub>L</sub>)<sub>T</sub> = Longitud total de grietas transversales (bajo, medio y altos niveles de gravedad), m / km

(FC)<sub>T</sub> = Agrietamiento por fatiga en la trayectoria de la rueda, porcentaje total del área del carril

(BC)<sub>T</sub> = Área del bloque de grietas como un porcentaje del área total de carril (usuario)

(LC<sub>SNWP</sub>)<sub>MH</sub> = Longitud de gravedad moderada y alta de sellado de grietas longitudinales fuera de trayectoria de la rueda, m / km (entrada del usuario).

$$SF = \left( \frac{R_{SD}(P_{0.75} + 1)PI}{2 * 10^4} \right) + \left( \frac{\ln(FI + 1) (P_{02} + 1)[\ln(R_m + 1)]}{10} \right) \quad (3.3.74b)$$

Donde:

R<sub>sd</sub> = Desviación estándar de la precipitación mensual, mm.

P<sub>075</sub> = Porcentaje que pasa el tamiz 0,075 mm.

PI = Porcentaje del índice de plasticidad del suelo.

FI = Índice promedio anual de congelación, °C-días

P<sub>02</sub> = Porcentaje que pasa el tamiz 0,02 mm.

$R_m$  = La precipitación media anual, mm

Modelo estadístico:

$N = 353$  observaciones

$R^2 = 0.620$

$RMSE = 0.387$  m/km

$S_e / S_y = 0.747$

La predicción del IRI para pavimentos de HMA en bases y sub-bases granulares no consolidados en el nivel deseado de fiabilidad, se obtiene de la siguiente manera:

$$IRI\_P = IRI + STD_{IRI} * Z_p \quad (3.3.75)$$

$$IRI\_P \leq 100 \%$$

Donde:

$IRI\_P$  = IRI previsto en el nivel de fiabilidad P, m / km

$IRI$  = IRI previsto basándose en las aportaciones medias (que corresponde al 50% de fiabilidad), m / km.

$STD_{IRI}$  = Desviación estándar de IRI en el nivel previsto de la media del IRI

$Z_p$  = Desviación normal estándar.

La desviación estándar del IRI para pavimentos de HMA con bases granulares y bases se deriva de la expresión de la varianza, tomando la raíz cuadrada de la varianza calculada a partir de las diferencias individuales de los términos.

$$\begin{aligned} Var[IRI] = & Var[IRI_0] + \left\{ \left( 0.0367 \left( e^{age/20} \right) - 0.0367 \right) \right\}^2 Var[SF] \\ & + 1.05625 \times 10^{-5} Var[(FC)_T] + 1.67445 \times 10^{-5} Var[COV_{RD}] \\ & + 1.1236 \times 10^{-6} Var[(TC_L)_T] + 4.9562 \times 10^{-5} Var[(BC)_T] \\ & + 2.4336 \times 10^{-6} Var[(LC_{SNWP})_{MH}] + S_e^2 \quad (3.3.76) \end{aligned}$$

Donde:  $\text{Var}[\text{IRI}] = \text{Varianza del IRI en el nivel previsto de la media del IRI}$

$\text{Var}[\text{IRI}_0] = \text{Varianza del IRI inicial}$

$\text{Var}[\text{SF}] = \text{Varianza del factor térmico del sitio (calculada utilizando los valores típicos)}$

$\text{Var}[(\text{FC})_T] = \text{Varianza de agrietamiento por fatiga en el recorrido de la rueda (estimada a partir de la desviación estándar del modelo de agrietamiento por fatiga)}$

$\text{Var}[\text{COV}_{\text{RD}}] = \text{Variación del coeficiente de variación de la profundidad del ahuellamiento dejado (calculada utilizando los valores típicos)}$ .

$\text{Var}[(\text{TC}_L)_T] = \text{Variación de la longitud total de grietas transversales (en todos los niveles de gravedad)}$ .

$\text{Var}[(\text{BC})_T] = \text{Varianza de la zona del bloque de grietas (estimado)}$

$\text{Var}[(\text{LC})_{\text{SNWP}}]_{\text{MH}} = \text{Variación de la longitud de gravedad moderada y alta, sellado de grietas longitudinales fuera de trayectoria de la rueda (se calcula utilizando los valores típicos)}$ .

$S_e^2 = \text{Varianza del error del modelo global} = 0.15 \text{ (m/km)}^2$

#### **3.3.3.4.2.- Bases tratadas con asfalto**

$$\begin{aligned} \text{IRI} = & \text{IRI}_0 + 0.0099947(\text{age}) + 0.0005183(\text{FI}) + 0.00235(\text{FC})_T + 18.36 \left[ \frac{1}{(\text{TC}_s)_H} \right] \\ & + 0.9694(\text{P})_H \quad (3.3.77) \end{aligned}$$

Donde:

$(\text{TC}_s)_H = \text{Espaciamiento de las grietas transversales de alta gravedad, m (estimado del modelo de agrietamiento térmico)}$ .

$(\text{P})_H = \text{Área de las manchas de alta gravedad, porcentaje del área total de carriles, \% (del usuario)}$ .

Todas las otras variables fueron previamente definidas

N = 428 observaciones

$$R^2 = 0.499$$

$$RMSE = 0.292 \text{ m/km}$$

$$S_e / S_y = 0.775$$

La predicción del IRI para pavimentos de HMA en bases asfálticas tratadas en el nivel deseado de fiabilidad se obtiene de acuerdo con la ecuación 3.3.75. La desviación estándar de IRI de HMA pavimento de asfalto con las bases necesarias para tratar la ecuación 3.3.75 se deriva de la expresión de la varianza, a continuación, tomando la raíz cuadrada de la varianza calculada a partir de las diferencias individuales de los términos.

$$\begin{aligned} Var[IRI] = & Var[IRI_0] + 3.047 \times 10^{-5} Var[(FC)_T] + \left[ \frac{-33.59}{(TC_s)_H + 1} \right]^2 Var[(TC_s)_H] \\ & + 0.90802 Var[P_H] + S_e^2 \end{aligned} \quad (3.3.78)$$

Donde:

$Var[(TC_s)_H]$  = Variación del espaciamiento promedio de grietas transversales de alta gravedad (se calcula a partir del modelo de agrietamiento térmico).

$Var[P_H]$  = Varianza del área de las manchas de alta gravedad (estimada a partir de los valores típicos).

Todas las demás variables como se explicó anteriormente.

#### **3.3.3.4.3.- Bases químicamente estabilizadas**

$$\begin{aligned} IRI = & IRI_0 + 0.00732(FC)_T + 0.07647(SD_{RD}) + 0.0001449(TC_L)_T + 0.00842(BC)_T \\ & + 0.0002115(LC_{NWP})_{MH} \end{aligned} \quad (3.3.79)$$

Donde, todas las variables son previamente definidas

Modelos estadísticos

N = 50 observaciones

$$R^2 = 0.83$$

$$RMSE = 0.229 \text{ m/km}$$

$$S_e / S_y = 0.436$$

La predicción del IRI para pavimentos de HMA sobre bases químicamente estabilizadas en el nivel deseado de fiabilidad, se obtiene de acuerdo con la ecuación 3.3.75. La desviación estándar del IRI para pavimentos de HMA con bases químicamente estabilizadas necesarias para la ecuación 3.3.75 se deriva de la expresión de la varianza, tomando la raíz cuadrada de la varianza calculada a partir de las diferencias individuales de los términos.

$$\begin{aligned} Var[IRI] = & Var[IRI_0] + 5.358 \times 10^{-5} Var[(FC)_T] + 5.848 \times 10^{-3} Var[SD_{RD}] \\ & + 4.473 \times 10^{-8} Var[(LC_{NWP})_{MH}] + S_e^2 \end{aligned} \quad (3.3.80)$$

Todas las variables son como se definió anteriormente.

En el enfoque de Guía de diseño, la profundidad del ahuellamiento es prevista utilizando los principios mecanicistas en el tiempo en lugar de la variación de la profundidad del ahuellamiento dejado (i.e.,  $COV_{RD}$  y  $SD_{RD}$ ), que se utiliza en los modelos de suavidad, mencionados anteriormente. Los modelos de estimación del valor de  $SD_{RD}$  de ahuellamiento son los siguientes:

$$SD_{RD} = 0.665 + 0.2126(RD) \quad (3.3.81)$$

Donde:

$SD_{RD}$  = Desviación estándar de las profundidades de ahuellamiento, mm.

$RD$  = La media de la profundidad de ahuellamiento, mm

Modelos estadísticos

$N = 824$  observaciones

$$R^2 = 0.404$$

$$RMSE = 0.914$$

#### **3.3.3.4.4.- IRI procedimiento de predicción**

La predicción del IRI es simple una vez que las entradas de la posible falla (grietas bloque y parches) se configuran y las predicciones de fallas del pavimento han sido completadas. Los pasos para la predicción del IRI son los siguientes:

Paso 1: Predecir fallas del pavimento

- Siga el procedimiento explicado en la sección 3.3.4.3 para obtener la predicción de HMA agrietamiento por fatiga.
- Siga el procedimiento explicado en la sección 3.3.4.3 para obtener valores medios de la deformación total permanente. Obtener la desviación estándar y coeficiente de variación estimaciones del valor predicho, es decir cómo se explicó anteriormente.
- Siga el procedimiento explicado en la sección 3.3.4.3 para obtener la predicción de grietas térmicas HMA.

Paso 2: Seleccione el IRI inicial y estime el peligro potencial.

El IRI inicial depende de las especificaciones de la suavidad del proyecto. Los valores típicos de la variedad inicial IRI 50 a 100 en / mi.

Estimar la falla potencial desde lo siguiente:

- Severidad media y alta formación de grietas longitudinales fuera de la trayectoria de la rueda.
- Parches de alta gravedad.

Paso 3: Predecir el IRI

Use los respectivos modelos IRI dados en la ecuación 3.3.74 por 3.3.81 para predecir el IRI sobre la vida del proyecto.

#### **3.3.3.5. - Configuración especial del eje**

Además del habitual análisis de tráfico general (mezcla de simple, tándem, trídem, y los vehículos de cuatro ejes), el procedimiento de diseño de pavimento flexible cuenta con un procedimiento alternativo para analizar el tráfico de ejes especiales. La función principal de intención de la tensión del eje de análisis especial es el de analizar estructuralmente el

comportamiento del pavimento debido a lo especial y pesado, no convencionales, los sistemas del vehículo off-road que suelen ser objeto de especial los requisitos de permisos. Esta es una característica muy importante de la Guía, ya que proporciona la información de diseño sobre la cantidad de daño que podría ser causada por uno o varios pases de los vehículos especiales de la estructura del pavimento. Vehículos especiales no pueden ser analizados junto con el tráfico general. Las características necesarias del diseño de los vehículos que serán útiles para el análisis, se describen a continuación.

**Designación del vehículo:** Nombre del diseño de los vehículos / equipos, que se utiliza únicamente con fines informativos.

**De carga del neumático:** Representa la carga de un neumático único en el conjunto de engranajes. Se supone que los neumáticos que quedan en el equipo de diseño tendrán la misma carga. Sólo uno de carga del neumático se pueden especificar para el análisis.

**Presión de los Neumáticos:** Sólo una presión de los neumáticos se utiliza para todos los neumáticos en el equipo especial de configuración. Esto dará lugar a la misma área de contacto para todos los neumáticos en el equipo.

**El tráfico medio anual:** Número medio de la repetición para el año inicial. El período de análisis y la tasa de crecimiento se utilizan para obtener el número total de repeticiones. La tasa de crecimiento es la entrada siguiente en esta pantalla. Las repeticiones totales en un período de tiempo se utilizan para la estimación de daños en función del tiempo. Si el usuario sólo tiene la intención de estudiar el efecto de una repetición, 12 repeticiones deben ser introducidas, lo que redundará en una repetición por mes. Además, el usuario debe definir la vida como el diseño de un mes.

**Ubicación de los neumáticos:** En el análisis del tráfico en general, el usuario no tiene una gran flexibilidad en términos de puntos de rueda. Pero para un equipo especial, el usuario puede especificar un máximo de 10 ruedas en el plano xy.

**Ubicación Análisis:** Para el análisis de tráfico en general, los lugares de análisis, serán determinados por el software de Guía de diseño. El usuario no tiene la flexibilidad para modificar las ubicaciones de análisis. En el caso de una configuración de equipo especial, el usuario puede especificar hasta 10 puntos de análisis de la computación. El programa requiere un mínimo de un lugar para su análisis. Una vez que los puntos se especifican; un diseño esquemático gráfica de los puntos se pueden ver en el programa. La selección de los

puntos de análisis es una función del tipo de falla. Para un análisis de ahuellamiento, el usuario sólo puede estar interesado en los puntos de cálculo en y entre las ruedas. No hay puntos de análisis que sean necesarios fuera de la configuración del equipo, ya que el ahuellamiento máximo es probable que ocurra en o entre las ruedas. Esto también es válido para el análisis de agrietamiento por fatiga abajo hacia arriba. Sin embargo, en el caso de formación de grietas por fatiga arriba abajo, el usuario puede estar interesado en el estudio del ahuellamiento de la superficie de tracción fuera de la configuración del equipo. El usuario tiene toda la flexibilidad para definir las ubicaciones en el análisis contrario al tráfico en general, que para las ubicaciones generales de análisis de tráfico interno definidos internamente por el software de Guía de Diseño.

### **3.4.- Calibración a condiciones locales**

Cualquier entidad interesada en la adopción del procedimiento de diseño descrito en esta guía debe preparar un plan de aplicación práctica. El plan debe incluir la capacitación del personal, la adquisición del equipo necesario, la adquisición de equipo informático necesario, y la calibración / validación a las condiciones locales.

El procedimiento de diseño mecánico-empírico en esta guía representa una de las principales mejoras y cambios de paradigma de los procedimientos existentes de diseño empírico (por ejemplo, AASHTO 1993), en el enfoque de diseño y de la complejidad. El uso de la mecánica, principios tanto en su estructura y el clima (temperatura y humedad), el modelo de estructura de pavimento / subrasante requiere datos de entrada mucho más amplios para ejecutar este tipo de modelo (incluyendo las distribuciones de carga por eje, la caracterización mejorada del material mejorado, los factores de construcción, y datos climáticos horarios como la temperatura ambiente, precipitaciones, la energía solar, radiación, nubosidad y humedad relativa). Por lo tanto, un importante esfuerzo será requerido para evaluar y adaptar el procedimiento por la agencia. Esto hará que el nuevo procedimiento de diseño sea mucho más capaz de producir diseños más confiables y rentables, incluso para las condiciones de diseño que se desvían significativamente de lo experimentado previamente (por ejemplo, el tráfico más pesado).

Es importante darse cuenta de que incluso el original (relativamente simple) AASHTO de diseño procedimientos, emitidos originalmente en 1962 y actualizado varias veces desde

entonces, requiere muchos años de aplicación por las agencias estatales de carreteras. Las agencias se centraron en la obtención de insumos apropiados, aplicando los valores de calibración de los parámetros como el "regional" o factor climático, soporte de la subrasante y su correlación con las pruebas de laboratorio común, el tráfico de insumos para calcular el equivalente de las cargas de un solo eje y muchos otros factores. Además, muchas agencias crearon secciones de prueba que fueron controladas durante 10 años o más, para calibrar más el procedimiento de diseño a las condiciones locales. Incluso para este procedimiento relativamente simple por los estándares de hoy, muchos años fueron necesarios para la ejecución exitosa en muchos estados.

#### **3.4.1.- Necesidad de calibración a las condiciones locales.**

Claramente, el procedimiento de la Guía de diseño mecánico-empírico requerirá de un mayor esfuerzo para implementar con éxito un procedimiento de diseño útil. Sin la calibración, el resultado de los cálculos mecánicos (daños por fatiga) no puede ser utilizado para predecir deformación total permanente, agrietamiento por fatiga y agrietamiento térmico con algún grado de confianza. En caso de grietas por fatiga, ninguna de las respuestas directas del pavimento (deflexión, esfuerzo o la tensión) se puede utilizar directamente para predecir el desarrollo de grietas; un complejo algoritmo es necesario para modelar el mecanismo de formación de grietas que produce "los daños". Este daño debe ser correlacionado con grietas reales en el campo. Los mecanismos de falla son mucho más complejos; por lo tanto, el uso de factores empíricos y de calibración son necesarios para obtener predicciones de rendimiento realistas.

El procedimiento de diseño descrito en la Guía se basa principalmente en la ingeniería mecánica, principios que constituyen una base fundamental para el diseño estructural del pavimento estructuras. Los procedimientos de pavimento flexible de diseño han sido calibrados con el diseño en las entradas y los datos de rendimiento en gran parte de la base de datos nacional que incluye LTPP, secciones ubicadas a lo largo de partes importantes de América del Norte. Los modelos de falla específicamente calibrada incluye:

- Formación de surcos (asfalto y capas no consolidadas).
- Agrietamiento por fatiga (bottom-up y top-down).
- Fisuramiento térmico

Este esfuerzo de calibración fue un gran esfuerzo de trabajo iterativo que resultó en la predicción de modelos de falla con constantes de calibración nacional. Las curvas de calibración "Nacional" generalmente representan el desempeño de pavimentos flexibles en la base de datos LTPP. Sea cual sea el sesgo incluido en estos datos de calibración se inscribe de forma natural en la predicción de modelos de falla. La calibración inicial se basó en un 80 por ciento de los datos. Los modelos fueron a continuación, "validados" con el 20 por ciento restante de los datos. Dado que ambos modelos mostraron validación razonable, todos los datos se combinan para obtener la final nacional integral los modelos de calibración. Sin embargo, esta calibración nacional no puede ser totalmente adecuada para regiones específicas del país y una calibración más local o regional puede ser necesaria. Los modelos de IRI para los pavimentos flexibles son de naturaleza empírica y se desarrollaron directamente con los datos disponibles LTPP. Una validación adicional de una agencia local puede no ser necesaria, pero podría lograrse si se desea, como se describe en esta sección.

#### **3.4.2.- Enfoque de la calibración.**

Debido a que este procedimiento de diseño se basa en los principios mecanicistas, los procedimientos deben funcionar razonablemente bien en el espacio de inferencia del procedimiento analítico y los datos de rendimiento, de la que se calibró el procedimiento. Sin embargo, este es un procedimiento de diseño complejo y debe ser cuidadosamente evaluado por los organismos viales que deseen implementar. El siguiente es el esfuerzo recomendado de calibración / validación, necesarios para aplicar la Guía de diseño para los pavimentos flexibles:

- Revisar todos los datos de entrada.
- Realizar un análisis de sensibilidad.
- Realizar estudios comparativos.
- Llevar a cabo la validación / calibración de los estudios.
- Modificar valores por defecto de entrada y los coeficientes de calibración, según sea necesario.

### **3.4.3.- Revisar todos los datos de entrada.**

Todas las entradas a la Guía de diseño de software deben ser revisadas con cinco objetivos principales en mente.

- Determinar el nivel deseado para la obtención de cada entrada en varios tipos de diseño proyectos (bajo volumen en comparación con el volumen alto en el logro de una adecuada el diseño es más importante). La Guía de diseño permite a los tres niveles de insumos y cada nivel tiene diferentes procedimientos.
  - Nivel 1-datos específicos del sitio de pruebas tales como pruebas de laboratorio de suelos y materiales, pruebas de tracción delantera y trasera calculada, y el ATC y las pruebas de WIM sitio.
  - Nivel 2-factores regionales y propiedades de los materiales de las pruebas, disponibles procedimientos o ecuaciones de correlación (por ejemplo, el uso de CBR para estimar módulo resiliente).
  - Nivel 3 - valores típicos locales (si se conoce) o los valores por defecto.
- Determinar si los datos por defecto suministrados con el software Guía de diseño son apropiados para la agencia y modificar si es necesario.
- Seleccionar rangos permitidos para las entradas para los distintos tipos de proyectos en el área geográfica de la agencia (de bajo volumen y alto volumen, geográficas diferentes áreas dentro del Estado).
- Seleccionar los procedimientos para obtener estos insumos para proyectos de diseño regular (por ejemplo, el tráfico volumen y peso de los insumos). Determinar los efectos de la exactitud de los valores de entrada en el diseño resultante.
- Llevar a cabo las pruebas necesarias para establecer insumos específicos (por ejemplo, hormigón asfáltico, módulo dinámico, la distribución de la carga por eje), la adquisición de equipos necesarios para cualquier prueba requerida

### **3.4.4.- Análisis de Sensibilidad**

Cada agencia debe llevar a cabo un análisis de sensibilidad del nuevo procedimiento de diseño, es mediante la selección de una situación de diseño típico con todas las entradas de diseño, que el software ejecuta y tiene previsto, en el período de diseño. A continuación, cada entrada es muy variada, normalmente una a la vez (a menos que dos o más se

correlacionan y luego dos o más son muy variadas al unísono, como ocurriría en la naturaleza) y el cambio en todas las salidas observadas. Tablas correspondientes y los predios son preparados y evaluados los resultados. Las entradas se dividieron en tres grupos, por ejemplo:

- Las que tienen un efecto muy significativo en uno o más resultados.
- Las que tienen un efecto moderado sobre uno o más resultados.
- Las que tienen sólo un efecto menor sobre uno o más resultados.

Los insumos que pertenecen al grupo No. 1 deben ser más selectos de N ° 3, que tendrá un efecto muy significativo en el diseño. La sensibilidad superior se puede repetir para el diseño de proyectos de bajo, medio y alto tráfico para ver si eso tiene un efecto sobre los insumos.

#### **3.4.5.- Los estudios comparativos**

En la realización de estudios comparativos con el procedimiento de la Guía se realiza con los datos existentes, se selecciona las situaciones típicas de diseño (diseños anteriores sería lo ideal) y se obtiene las entradas para el diseño de la Guía de Diseño. Ejecutar el software de Guía de Diseño y determinar la falla e IRI sobre el período de análisis, evaluar la adecuación del diseño basado en los resultados y la experiencia del desempeño de las agencias. Si existen deficiencias en las predicciones de la Guía de diseño, determinar las razones, si es posible.

#### **3.4.6.- Calibración a las condiciones locales (EEUU)**

Los datos nacionales (EEUU) de calibración-validación del proceso se han completado con éxito, aunque este esfuerzo es muy amplio, el estudio de validación se recomienda como un paso prudente en la aplicación de un procedimiento de un nuevo diseño que es tan diferente del procedimiento actual.

La validación de una base de datos se debe desarrollar para confirmar que los factores de calibración nacional o funciones sean adecuados y apropiados para la construcción, materiales, clima, tráfico y otras condiciones que se encuentran dentro de los organismos de red de carreteras.

Preparar una base de datos de desempeño de las agencias y comparar el procedimiento y rendimiento del diseño nuevo en secciones "locales". Para ello será necesaria la selección de por lo menos 20 secciones de pavimento flexible en todo el estado. Si el estado tiene muy distintos climas esto se debe hacer en cada clima.

El objetivo del proceso de calibración-validación es confirmar que los modelos de rendimiento predicen con precisión las dificultades del pavimento a nivel nacional. Alguna de las cualidades del área geográfica, puede ser necesaria para obtener información fiable sobre el diseño de pavimentos.

#### **3.4.7.- Modificar las calibraciones / Entradas**

Si se encuentran diferencias significativas entre el IRI y las fallas predichas medidas en las carreteras, deberán hacerse los ajustes que correspondan con los modelos de desempeño. Este estudio también establecerá el grado de precisión deseable para la entrada de parámetros clave y los valores de entrada por defecto. Realizar modificaciones en el nuevo procedimiento es necesario, sobre la base de todos los resultados anteriores.

**CAPITULO IV      APLICACIÓN PRÁCTICA DEL METODO AASHTO 2008**  
**(M-EPDG) EN EL TRAMO SAN ANDRES BELLA VISTA**

**4.1.- Información general**

Design Life / Vida de diseño:	10 años
Base/Subgrade construction / Mes de construcción base / subbase:	Junio, 2006
Pavement construction / Mes de construcción de pavimento:	Julio, 2006
Traffic open / Mes de apertura al tráfico:	Agosto, 2006
Type of design / Tipo de diseño:	Flexible

**4.2.- Identificación y sitio del proyecto**

Location / Localidad:	San Andrés - Bella Vista
Project ID / Identificación del proyecto:	1
Section ID / Identificación de la sección:	San Andrés - Bella Vista
Date / Fecha:	01/09/2011
Station/milepost format / Progresiva en millas:	Feet: 00 + 00
Station/milepost begin / Progresiva de inicio:	00+00
Station/milepost end / Progresiva final:	4.92+00
Traffic direction / dirección de tráfico:	East bound / hacia el este

**4.3.- Periodo de diseño**

El periodo de diseño será de 10 años

#### **4.4.- Requisitos para la construcción**

El pavimento tendrá un IRI entre 50 y 100 pulgadas/milla (asumir 100 in/mi para propósitos de diseño; esto debido a que el IRI en nuestro medio es alto).

#### **4.5.- Parámetros para el diseño**

##### **4.5.1.- IRI**

**4.5.1.1.- Inicial IRI (IRI inicial in/mi).**- El límite será 100 pulg/milla (los IRIS utilizados en USA son irreales para nuestro medio, esto se demuestra con las mediciones realizadas del IRI en pavimentos nuevos en nuestro medio mostrado en los anexos, donde los cuales exceden este parámetro por tal motivo se empleo el mayor rango)

**4.5.1.2.- Terminal IRI (IRI terminal in/mi).**- El límite será 200 pulg/milla con una confiabilidad del 80% (el IRI en nuestro medio es alto como ya se explico anteriormente)

**4.5.2.- Fisuramiento de la superficie al fondo-Fisuramiento Long (ft/mi)**- AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile): El límite será de 500 ft/milla con una confiabilidad del 80%

**4.5.3.- Fisuramiento del fondo a la superficie - piel de cocodrilo (%)**- AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%): El límite será de 25% con una confiabilidad del 80%

**4.5.4.- Fracturas Térmicas (ft/mi)**- AC Thermal Fracture: El límite será 1000 ft/milla con una confiabilidad del 80%

##### **4.5.5.- Deformación total permanente en el pavimento (pulgadas)**

Permanent Deformation – Total Pavement (in): El límite será 0.5 pulgadas con una confiabilidad del 80%

#### 4.6.- Tráfico

Hora	C5	C6	C7	C8	TOTAL	Hr.Distrib
0:00 - 1:00	0	0	0	0	0	0
1;00 - 2:00	0	0	0	0	0	0
2:00 - 3:00	0	0	0	0	0	0
3:00 - 4:00	1	0	0	0	1	0.862069
4:00 - 5:00	0	0	0	0	0	0
5:00 - 6:00	0	1	0	1	2	1.7241379
6:00 - 7:00	9	0	0	7	16	13.793103
7:00 - 8:00	4	1	0	4	9	7.7586207
8:00 - 9:00	7	0	0	5	12	10.344828
9:00 -10:00	3	1	0	2	6	5.1724138
10:00 - 11:00	3	0	0	2	5	4.3103448
11:00 - 12:00	4	0	0	3	7	6.0344828
12:00 - 13:00	4	0	0	6	10	8.6206897
13:00 -14:00	1	0	0	4	5	4.3103448
14:00 - 15:00	4	1	0	4	9	7.7586207
15:00 - 16:00	4	0	0	4	8	6.8965517
16:00 - 17:00	3	0	0	3	6	5.1724138
17:00 -18:00	4	0	0	1	5	4.3103448
18:00 - 19:00	9	0	0	1	10	8.6206897
19:00 - 20:00	3	0	0	0	3	2.5862069
20:00 - 21:00	0	0	0	2	2	1.7241379
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0
22:00 - 23:00	0	0	0	0	0	0
23:00 - 0:00	0	0	0	0	0	0
TOTAL	63	4	0	49	116	100
%Clase.Dist	54.310345	3.4482759	0	42.241379	100	

Fuente: Elaboración Propia

Initial two-way TPDA (TPDA para los dos sentidos): 116

Number of lanes in design direction (Número de carriles en dirección del diseño): 2

Percent of trucks in design direction (% de camiones en dirección de diseño): 50

Percent of trucks in design lane (% en carril de diseño): 95

Operational speed (Velocidad operacional) (mph): 25

#### 4.6.1.- Ajuste al volumen de tráfico

### DEMANDA ACTUAL

#### TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL TPDA Tramo: San Andrés Bella Vista

TIPO DE VEHICULO	EPOCA DE COSECHA			RESTO DEL AÑO		
	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL
Livianos	8	17	35	12	21	39
Pesados	4	9	18	6	11	20
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>26</b>	<b>53</b>	<b>18</b>	<b>32</b>	<b>59</b>

**Fuente:** Datos recogidos de la supervisión

La época de cosecha se considera los meses de noviembre y diciembre, por ejemplo, para el mes de enero sería.

$$MAF_i = \frac{AMDTT_i}{\sum_{i=1}^{12} AMDTT_i} * 12$$

$$MAF_{ENERO} = \frac{59}{696} * 12$$

$$MAF_{ENERO} = 1.0172$$

	AMDTT <sub>i</sub>	MAF <sub>i</sub>
Enero	59	1.017241379
Febrero	59	1.017241379
Marzo	59	1.017241379
Abril	59	1.017241379
Mayo	59	1.017241379
Junio	59	1.017241379
Julio	59	1.017241379
Agosto	59	1.017241379
Septiembre	59	1.017241379
Octubre	59	1.017241379
Noviembre	53	0.913793103
Diciembre	53	0.913793103
ΣAMDTT <sub>i</sub> =	696	

**Fuente: Elaboración Propia**

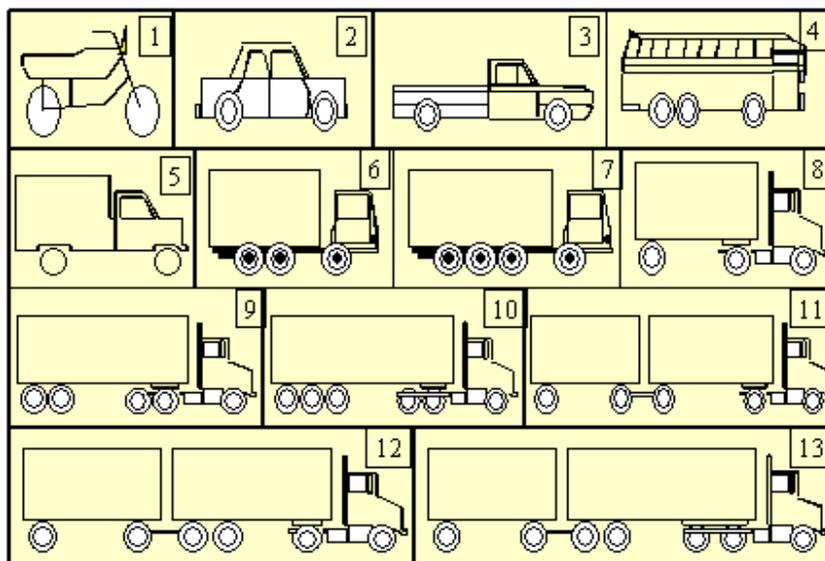
**Factor de ajuste mensual**

(Nivel 1, Sitio específico – MAF)

Mes	Clase de vehículo									
	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9	Clase 10	Clase 11	Clase 12	Clase 13
Enero	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Febrero	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Marzo	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Abril	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Mayo	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Junio	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Julio	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Agosto	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Septiembre	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Octubre	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Noviembre	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
Diciembre	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91

**Fuente: Elaboración Propia**

#### 4.6.2.- Distribución de vehículos por clase



Fuente: AASHTO 2008 (M-EPDG)

(Nivel 1 Distribución específica del sitio)

#### TPDA Distribución de vehículos por clase

Clase 4	0.0%
Clase 5	54.3 %
Clase 6	3.4 %
Clase 7	0.0%
Clase 8	42.3 %
Clase 9	0.0%
Clase 10	0.0%
Clase 11	0.0%
Clase 12	0.0%
Clase 13	0.0%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.3.- Distribución de tráfico de camiones por hora

Media noche	0.0%	Medio día	8.6%
1:00 am	0.0%	1:00 pm	4.3%
2:00 am	0.0%	2:00 pm	7.8%
3:00 am	0.9%	3:00 pm	6.9%
4:00 am	0.0%	4:00 pm	5.2%
5:00 am	1.7%	5:00 pm	4.3%
6:00 am	13.8%	6:00 pm	8.6%
7:00 am	7.8%	7:00 pm	2.6%
8:00 am	10.3%	8:00 pm	1.7%
9:00 am	5.2%	9:00 pm	0.0%
10:00 am	4.3%	10:00 pm	0.0%
11:00 am	6.0%	11:00 pm	0.0%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.4.- Entradas generales de tráfico

Mean wheel location (inches from the lane marking) / Distancia promedio entre el neumático y el marcador de carril: 18 pulgadas.

Traffic Wander Standard Deviation (in) / Desviación Estándar de la distancia entre el eje y el borde del pavimento (in): 10 pulgadas.

Design Lane Width (ft) / Ancho del carril: 12.13 pies

#### 4.6.4.1.- Número de ejes por camión

Clase de vehiculo	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Trídem	Eje Quad
Clase 4	1.62	0.39	0.00	0.00
Clase 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Clase 6	1.02	0.99	0.00	0.00
Clase 7	1.00	0.26	0.83	0.00
Clase 8	2.38	0.67	0.00	0.00
Clase 9	1.13	1.93	0.00	0.00
Clase 10	1.19	1.09	0.89	0.00
Clase 11	4.29	0.26	0.06	0.00
Clase 12	3.52	1.14	0.06	0.00
Clase 13	2.15	2.13	0.35	0.00

Fuente: AASHTO 2008 (M-EPDG)

#### 4.6.4.2.- Configuración de ejes

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions / Ancho Promedio del eje (de borde a borde) - dimensiones exteriores (ft): 8.5

Dual tire spacing / Espaciamiento entre neumáticos dobles (in): 12

Tire Pressure / Presión de los neumáticos (psi) : 120

Axle Spacing / Espaciamiento entre Ejes

Eje Tándem (pulg): 51.6

Eje Trídem (pulg): 49.2

Eje Quad (pulg): 49.2

	Short/Corto	Medium/ Mediano	Long/Largo
Wheelbase/ Distancia Entre Ejes	12	15	18
Percent of Trucks / Porcentaje de Camiones (%)	33	33	34

**Fuente: AASHTO 2008 (M-EPDG)**

#### 4.5.- Clima.-

Las condiciones medioambientales son importantes en el desempeño de los pavimentos flexibles, siendo compleja la interacción de los factores climáticos con los materiales y las cargas. Factores como la precipitación, temperatura, ciclos hielo-deshielo y profundidad de la capa afectan el contenido de humedad del pavimento y de la subrasante, incidiendo directamente en la capacidad de soporte de las capas del pavimento y finalmente en el desempeño del mismo.

Es necesario recordar que los aspectos climáticos no fueron una variable de importancia durante el procesamiento de datos obtenidos de la prueba de rodadura AASHTO (AASHTO Road Test), hecho que dificultó la evaluación de aspectos tales como la influencia del clima en las características mecánicas intrínsecas del material, su relación con las cargas provenientes del tránsito y la interpolación del método hacia otras realidades climáticas.

El Modelo Climático Integrado Mejorado (Enhanced Integrated Climatic Model, EICM) que trae consigo el software de la guía se encarga de elaborar perfiles de humedad y de temperatura. Para ello se debe especificar la ubicación del lugar en que se desarrolle el proyecto a través de un archivo de tipo climático con extensión .icm (input climate model).

Para incorporar una estación climática al software se debe crear un archivo con extensión .hcd (hourly climatic database). Este tipo de archivos debe poseer sus datos estructurados de la siguiente forma:

2008010100,86,0.8,0,0,45

2008010101,86,0.8,0,0,45

2008010102,86,0.8,0,0,45

2008010103,86,0.8,0,0,45

Los primeros cuatros dígitos de este esquema corresponden al año de medición; los cuatro dígitos siguientes corresponden al mes, día y hora de medición. Posterior a éstos se separan con coma los datos de temperatura [°F] y velocidad del viento [mph], el porcentaje de nubosidad, la precipitación [in] y el porcentaje de humedad relativa. Como puede apreciarse del párrafo anterior, la creación de una estación climática requiere de la recolección de datos cada hora, por un periodo de tiempo no inferior a dos años, de los siguientes datos: temperatura, velocidad del viento, nubosidad, precipitación y humedad relativa. En este estudio, se emplean los datos de la estación de San Andrés, los cuales son posibles de emplear dada la similar condición climática entre esta región y la de Meridian – Misisipi; estos datos se recogen del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), donde se realizan las mediciones; lastimosamente no se cuenta con mediciones horarias, lo que se pudo conseguir fueron mediciones diarias, de temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento y otros parámetros; estos datos recolectados están completos solamente en 2 años donde la velocidad del viento es un dato que recién se comienza a medir. Para que el programa reconozca este archivo se debe modificar una estación existente en la lista de estaciones climáticas del software, debido a que no se puede ingresar una nueva estación meteorológica. Se debe elegir alguna que tenga un clima similar con San Andrés, de modo que los cálculos de balance de energía realizados internamente por el EICM sean representativos. Además, se realiza un estudio de los datos climáticos de las estaciones que mejor representen la zona de San Andrés, siendo la estación de Meridian del Estado de Misisipi (archivo 03866.hcd) el elegido. Este archivo se modifica y se combina con los datos recolectados para la estación climática de San Andrés, teniendo en cuenta que las estaciones del año entre ambos países se encuentran desfasadas 6 meses. Como el software opera con los datos de Norteamérica, los datos recolectados en Bolivia se deben ingresar desfasados. A través del software se escoge entre

las dos opciones que existen para especificar este tipo de archivos: importar un archivo de tipo climático previamente generado (.icm) o a través de la formación de un archivo con extensión .icm, el cual emplea los datos de tiempo disponibles en el EICM para varias estaciones climáticas de Estados Unidos. A partir de la primera opción, se escoge la estación climática de Meridian (cuyos datos se encuentran cambiados, como se mencionó anteriormente), generándose un archivo nuevo, al cual se le da el nombre de SanAndres.icm. Este archivo puede ser empleado directamente, previa elección, en cualquier otro proyecto que se emplace en la Región de San Andrés.

#### 4.6.- Diseño Preliminar

##### 4.6.1.- Espesores de capas

##### 4.6.1.1- Capa de Concreto Asfáltico

Material type / Tipo de material: Asphalt concrete / concreto asfáltico

Layer thickness / Espesor de capas (pulgadas): 5

##### 4.6.1.1.1.- Propiedades generales

<b>General</b>	
Reference temperature / Temperatura de referencia(F°):	70
<b>Volumetric Properties as Built / propiedades volumétricas al tiempo de construir</b>	
Effective binder content / Contenido de Ligante Efectivo (%):	11.6
Air voids / Vacíos de aire (%):	7
Total unit weight / Peso Unitario Total (pcf):	150
Poisson's ratio / Coeficiente de Poisson:	0.35

**Fuente: AASHTO 2008 (M-EPDG)**

#### 4.6.1.2.- Fisuramiento térmico

Resistencia promedio a la tracción a 14°F:	364.14
Mezcla VMA (%)	18.6
Coefficiente de contracción térmica del agregado (in./in.)	0.000005
Coefficiente de contracción térmica de la mezcla (in./in./°F):	0.000013

Fuente: AASHTO 2008 (M-EPDG)

#### 4.6.1.3.- Base Granular

Unbound Material / Material sin clasificar: Grava triturada

Thickness / espesor (in): 4

#### Strength Properties / Propiedades de resistencia

Input Level / Nivel de jerarquía:	Nivel 2
Analysis Type:	Valor representativo (Módulo de Entrada de usuario)
Poisson's ratio / Coeficiente de poisson:	0.35
Coefficient of lateral pressure / Coeficiente de presión lateral Ko:	0.5
CBR:	90

Fuente: Datos recogidos de la supervisión

#### 4.6.1.4.- Sub-base

Unbound Material / Material sin clasificar: A-2-4

Thickness / Espesor (in): 3

### **Strength Properties / Propiedades de resistencia**

Input Level / Nivel de jerarquía:	Nivel 2
Analysis Type / Tipo de análisis:	ICM inputs (ICM Calculated Modulus)
Poisson's ratio / Coeficiente de Poisson:	0.35
Coefficient of lateral pressure / Coeficiente de Poisson Ko:	0.5
CBR:	40

**Fuente: Datos recogidos de la supervisión**

#### **4.6.1.5.- Capa de Suelo**

Unbound Material / Material sin consolidar: A-4

Thickness / Espesor (pulg): Semi-infinite / Semi-infinito (por ser la última capa)

### **Strength Properties / Propiedades de resistencia**

Input Level / Nivel de jerarquía:	Nivel 2
Analysis Type / Tipo de análisis:	ICM inputs (ICM Calculated Modulus)
Poisson's ratio / Coeficiente de Poisson:	0.35
Coefficient of lateral pressure / Coeficiente de Poisson Ko:	0.5
Modulus (input) (psi):	15500

**Fuente: Datos recogidos de la supervisión**

**Datos de suelos de subrasante (con mayor detalle en los anexos)**

<b>Entradas ICM</b>	
Graduación y plasticidad	
Índice de plasticidad	0
Límite Líquido	0
Capa compactada	No
% que pasa tamiz #200:	49.4
% que pasa tamiz #40:	72.2
% que pasa tamiz #4:	90.8
D10(mm)	0.000382
D20(mm)	0.001458
D30(mm)	0.005567
D60(mm)	0.1682
D90(mm)	3.831

**Fuente: Elaboración Propia**

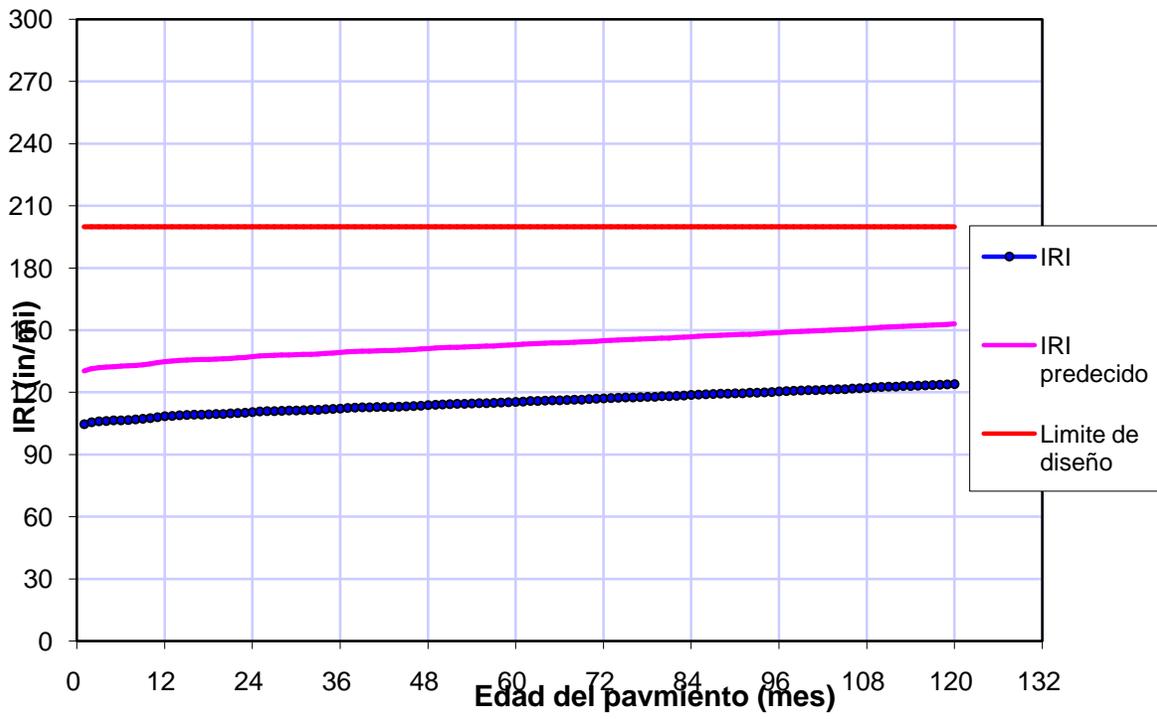
<b>Tamiz</b>	<b>% que pasa</b>
<b>0.001mm</b>	
<b>0.002mm</b>	
<b>0.020mm</b>	
<b>#200</b>	49.41
<b>#100</b>	
<b>#80</b>	
<b>#60</b>	
<b>#50</b>	
<b>#40</b>	72.15
<b>#30</b>	
<b>#20</b>	
<b>#16</b>	
<b>#10</b>	87.52
<b>#8</b>	
<b>#4</b>	90.82
<b>3/8"</b>	93.29
<b>1/2"</b>	100
<b>3/4"</b>	100
<b>1"</b>	100
<b>1 1/2"</b>	100
<b>2"</b>	100
<b>2 1/2"</b>	100
<b>3"</b>	
<b>3 1/2"</b>	
<b>4"</b>	

**Fuente: Elaboración propia**

#### 4.6.2.- Valoración de resultados

<b>Criterio de rendimiento</b>	<b>Falla escogida</b>	<b>Conf. escogida</b>	<b>Falla predecida</b>	<b>Conf. predecida</b>	<b>Verifi.</b>
IRI Terminal (in/mi)	200	80	124.1	98.63	Cumple
Fisuramiento de la superficie al fondo-Fisuramiento Long (ft/mi)	500	80	2.7	83.63	Cumple
Fisuramiento del fondo a la superficie - piel de cocodrilo (%):	25	80	0.1	99.999	Cumple
Fracturas Térmicas (ft/mi)	1000	80	1	99.999	Cumple
Capa químicamente estabilizada	25	80			N/A
Deformacion permanente (sólo carpeta) (pulg):	0.25	80	0.06	99.999	Cumple
Deformacion permanenete (Todo el pavimento) (in):	0.5	80	0.36	97.8	Cumple

# IRI



## Fallas predecidas: Proyecto SAN ANDRES - BELLA VISTA.dgp

Edad del pavimento		Mes	Agriet. Long. (ft/mi)	Piel de cocodrilo (%)	Agriet. transv. (ft/mi)	Subtotal AC. Ahuella (in)	Ahuella. Total (in)	IRI (in/mi)	Camion pesados (acumu)	IRI predecido (in/mi)
mes	año									
1	0.08	Agosto	0	0.0008	0	0.01	0.117	104.7	1706	130.32
2	0.17	Septiembre	0.01	0.0018	0	0.012	0.14	105.6	3412	131.42
3	0.25	Octubre	0.02	0.0024	0	0.013	0.15	106.1	5118	131.93
4	0.33	Noviembre	0.02	0.0028	0	0.013	0.155	106.3	6651	132.19
5	0.42	Diciembre	0.02	0.0029	0	0.013	0.159	106.5	8183	132.39
6	0.5	Enero	0.02	0.0032	0	0.013	0.163	106.6	9889	132.61
7	0.58	Febrero	0.02	0.0035	0	0.013	0.167	106.8	11595	132.83
8	0.67	Marzo	0.02	0.0039	0	0.013	0.171	107	13301	133.06
9	0.75	Abril	0.03	0.0046	0	0.013	0.176	107.3	15007	133.35
10	0.83	Mayo	0.04	0.0057	0	0.015	0.185	107.7	16713	133.81
11	0.92	Junio	0.06	0.007	0	0.018	0.195	108.1	18419	134.32
12	1	Julio	0.08	0.0083	0	0.02	0.204	108.5	20125	134.77
13	1.08	Agosto	0.1	0.0097	0	0.022	0.211	108.8	21900	135.17
14	1.17	Septiembre	0.12	0.011	0	0.023	0.216	109.1	23674	135.44
15	1.25	Octubre	0.13	0.0118	0	0.024	0.219	109.2	25448	135.63
16	1.33	Noviembre	0.13	0.0123	0	0.024	0.22	109.3	27042	135.75
17	1.42	Diciembre	0.13	0.0125	0	0.024	0.222	109.4	28636	135.86
18	1.5	Enero	0.14	0.0129	0	0.024	0.223	109.5	30410	135.97
19	1.58	Febrero	0.14	0.0133	0	0.024	0.224	109.6	32184	136.1
20	1.67	Marzo	0.14	0.0138	0	0.024	0.226	109.7	33959	136.22
21	1.75	Abril	0.15	0.0148	0	0.024	0.228	109.9	35733	136.4
22	1.83	Mayo	0.17	0.0161	0	0.025	0.232	110.1	37507	136.63
23	1.92	Junio	0.2	0.0175	0	0.026	0.236	110.3	39281	136.9
24	2	Julio	0.23	0.0191	0	0.028	0.241	110.6	41056	137.22
25	2.08	Agosto	0.26	0.0208	0	0.03	0.247	110.8	42901	137.55
26	2.17	Septiembre	0.29	0.0221	0	0.031	0.25	111	44746	137.75
27	2.25	Octubre	0.3	0.023	0	0.031	0.251	111.1	46591	137.88
28	2.33	Noviembre	0.3	0.0234	0	0.031	0.252	111.2	48249	137.99
29	2.42	Diciembre	0.3	0.0237	0	0.031	0.253	111.3	49906	138.09
30	2.5	Enero	0.3	0.024	0	0.031	0.254	111.4	51752	138.19
31	2.58	Febrero	0.31	0.0244	0	0.031	0.254	111.5	53597	138.3
32	2.67	Marzo	0.32	0.0251	0	0.031	0.255	111.6	55442	138.43
33	2.75	Abril	0.33	0.026	0	0.031	0.257	111.7	57287	138.56
34	2.83	Mayo	0.35	0.0273	0	0.032	0.259	111.9	59133	138.75
35	2.92	Junio	0.39	0.0289	0	0.033	0.262	112.1	60978	138.98
36	3	Julio	0.42	0.0306	0	0.035	0.266	112.3	62823	139.25
37	3.08	Agosto	0.47	0.0323	0	0.036	0.27	112.5	64742	139.52
38	3.17	Septiembre	0.49	0.0336	0	0.037	0.272	112.7	66661	139.69
39	3.25	Octubre	0.51	0.0347	0	0.037	0.273	112.8	68580	139.83

40	3.33	Noviembre	0.51	0.035	0	0.037	0.274	112.9	70304	139.94
41	3.42	Diciembre	0.51	0.0352	0	0.037	0.274	113	72028	140.03
42	3.5	Enero	0.51	0.0355	0	0.037	0.275	113.1	73947	140.14
43	3.58	Febrero	0.52	0.0359	0	0.037	0.275	113.1	75866	140.25
44	3.67	Marzo	0.52	0.0363	0	0.037	0.276	113.2	77785	140.37
45	3.75	Abril	0.54	0.0373	0	0.037	0.277	113.4	79704	140.51
46	3.83	Mayo	0.56	0.0389	0	0.038	0.279	113.5	81623	140.7
47	3.92	Junio	0.6	0.0405	0	0.038	0.282	113.7	83542	140.91
48	4	Julio	0.64	0.0423	0	0.04	0.285	113.9	85461	141.14
49	4.08	Agosto	0.67	0.0441	0	0.04	0.287	114.1	87457	141.36
50	4.17	Septiembre	0.7	0.0455	0	0.041	0.289	114.2	89453	141.54
51	4.25	Octubre	0.71	0.0464	0	0.041	0.29	114.4	91449	141.68
52	4.33	Noviembre	0.72	0.047	0	0.041	0.291	114.5	93242	141.8
53	4.42	Diciembre	0.72	0.0473	0	0.041	0.291	114.6	95034	141.92
54	4.5	Enero	0.72	0.0476	0	0.041	0.292	114.7	97030	142.04
55	4.58	Febrero	0.72	0.0481	0	0.041	0.292	114.8	99026	142.16
56	4.67	Marzo	0.73	0.0487	0	0.041	0.293	114.9	101022	142.28
57	4.75	Abril	0.75	0.0498	0	0.041	0.294	115	103018	142.43
58	4.83	Mayo	0.78	0.0513	0	0.041	0.295	115.2	105013	142.6
59	4.92	Junio	0.83	0.0531	0	0.042	0.298	115.3	107009	142.81
60	5	Julio	0.88	0.0552	0	0.043	0.3	115.5	109005	143.04
61	5.08	Agosto	0.93	0.0571	0	0.044	0.303	115.7	111081	143.25
62	5.17	Septiembre	0.97	0.0588	0	0.045	0.304	115.9	113156	143.43
63	5.25	Octubre	0.99	0.06	0	0.045	0.305	116	115232	143.57
64	5.33	Noviembre	0.99	0.0604	0	0.045	0.305	116.1	117096	143.7
65	5.42	Diciembre	0.99	0.0607	0	0.045	0.306	116.2	118961	143.82
66	5.5	Enero	0.99	0.061	0	0.045	0.306	116.3	121037	143.94
67	5.58	Febrero	1	0.0614	0	0.045	0.306	116.4	123112	144.06
68	5.67	Marzo	1	0.062	0	0.045	0.307	116.5	125188	144.19
69	5.75	Abril	1.02	0.0632	0	0.045	0.308	116.6	127264	144.34
70	5.83	Mayo	1.06	0.0649	0	0.045	0.309	116.8	129339	144.51
71	5.92	Junio	1.11	0.0668	0	0.046	0.311	117	131415	144.71
72	6	Julio	1.16	0.0689	0	0.047	0.313	117.1	133490	144.92
73	6.08	Agosto	1.21	0.071	0	0.047	0.315	117.3	135649	145.13
74	6.17	Septiembre	1.25	0.0728	0	0.048	0.317	117.5	137808	145.31
75	6.25	Octubre	1.27	0.0739	0	0.048	0.317	117.6	139966	145.46
76	6.33	Noviembre	1.28	0.0745	0	0.048	0.318	117.7	141906	145.59
77	6.42	Diciembre	1.28	0.0749	0	0.048	0.318	117.8	143845	145.72
78	6.5	Enero	1.28	0.0752	0	0.048	0.318	117.9	146003	145.85
79	6.58	Febrero	1.28	0.0756	0	0.048	0.319	118	148162	145.98
80	6.67	Marzo	1.29	0.0765	0	0.048	0.319	118.2	150321	146.12
81	6.75	Abril	1.31	0.0778	0	0.048	0.32	118.3	152479	146.27
82	6.83	Mayo	1.36	0.0795	0	0.048	0.321	118.4	154638	146.45
83	6.92	Junio	1.41	0.0817	0	0.049	0.323	118.6	156797	146.65
84	7	Julio	1.47	0.0839	0	0.05	0.325	118.8	158955	146.88

85	7.08	Agosto	1.53	0.086	0	0.05	0.327	119	161200	147.07
86	7.17	Septiembre	1.57	0.0878	0	0.051	0.328	119.1	163445	147.25
87	7.25	Octubre	1.6	0.0893	0	0.051	0.329	119.3	165690	147.41
88	7.33	Noviembre	1.61	0.0899	0	0.051	0.329	119.4	167707	147.54
89	7.42	Diciembre	1.61	0.0902	0	0.051	0.329	119.5	169724	147.68
90	7.5	Enero	1.61	0.0906	0	0.051	0.33	119.6	171969	147.82
91	7.58	Febrero	1.61	0.0911	0	0.051	0.33	119.7	174214	147.96
92	7.67	Marzo	1.62	0.0917	0	0.051	0.33	119.9	176459	148.1
93	7.75	Abril	1.64	0.0931	0	0.051	0.331	120	178704	148.25
94	7.83	Mayo	1.69	0.0949	0	0.051	0.332	120.1	180949	148.43
95	7.92	Junio	1.74	0.097	0	0.052	0.333	120.3	183194	148.63
96	8	Julio	1.81	0.0994	0	0.053	0.335	120.5	185439	148.85
97	8.08	Agosto	1.88	0.102	0	0.053	0.337	120.7	187774	149.06
98	8.17	Septiembre	1.93	0.104	0	0.054	0.338	120.8	190108	149.25
99	8.25	Octubre	1.95	0.105	0	0.054	0.339	121	192443	149.41
100	8.33	Noviembre	1.96	0.105	0	0.054	0.339	121.1	194541	149.55
101	8.42	Diciembre	1.96	0.106	0	0.054	0.339	121.2	196638	149.69
102	8.5	Enero	1.96	0.106	0	0.054	0.34	121.3	198973	149.83
103	8.58	Febrero	1.96	0.107	0	0.054	0.34	121.5	201308	149.98
104	8.67	Marzo	1.97	0.107	0	0.054	0.34	121.6	203642	150.12
105	8.75	Abril	1.99	0.109	0	0.054	0.341	121.7	205977	150.28
106	8.83	Mayo	2.05	0.111	0	0.054	0.342	121.9	208312	150.48
107	8.92	Junio	2.12	0.113	0	0.055	0.344	122.1	210647	150.7
108	9	Julio	2.2	0.116	0	0.056	0.346	122.3	212982	150.93
109	9.08	Agosto	2.28	0.118	0	0.057	0.348	122.5	215410	151.16
110	9.17	Septiembre	2.34	0.121	0	0.057	0.349	122.7	217838	151.35
111	9.25	Octubre	2.38	0.122	0	0.058	0.35	122.8	220266	151.52
112	9.33	Noviembre	2.38	0.123	0	0.058	0.35	122.9	222448	151.67
113	9.42	Diciembre	2.39	0.123	0	0.058	0.35	123.1	224629	151.82
114	9.5	Enero	2.39	0.124	0	0.058	0.35	123.2	227057	151.97
115	9.58	Febrero	2.4	0.124	0	0.058	0.351	123.3	229485	152.12
116	9.67	Marzo	2.41	0.125	0	0.058	0.351	123.4	231913	152.28
117	9.75	Abril	2.44	0.127	0	0.058	0.352	123.6	234342	152.45
118	9.83	Mayo	2.5	0.129	0	0.058	0.353	123.8	236770	152.63
119	9.92	Junio	2.57	0.131	0	0.059	0.354	123.9	239198	152.85
120	10	Julio	2.66	0.134	0	0.06	0.356	124.1	241626	153.08

### Subtemporada de modulo de capa: Proyecto San Andres – Bella Vista.dgp

Edad pavimento		Mes	Modulus (psi)														
N	año		AC1 (1) h=0.5					AC1 (2) h=0.5					AC1 (3) h=1.0				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	0.08	Agosto	1252230	1021250	734876	415568	268035	1043800	858754	639618	393575	263407	865626	714254	560462	380894	271884
2	0.17	Septiembre	1537810	1197180	922403	531104	295758	1252460	994551	783093	487848	290357	1028780	830532	676396	460389	301302
3	0.25	Octubre	2893370	1964870	1432940	953203	526739	2457970	1628480	1207610	852440	503844	2032110	1360390	1030710	788969	504471
4	0.33	Noviembre	3172010	3023140	2401260	1840700	1143630	3068310	2667630	2090370	1617790	1065760	2971730	2286060	1840430	1459690	1041710
5	0.42	Diciembre	3171990	3171990	3141520	2508130	1571770	3068260	3068260	2828870	2243870	1461040	2971670	2971670	2553520	2023620	1407660
6	0.5	Enero	3171970	3171970	2860740	2174290	1430180	3068220	3068220	2579160	1932430	1317690	2971620	2971620	2311820	1762610	1275690
7	0.58	Febrero	3171940	3171940	2794310	2117510	1115410	3068180	3068180	2468680	1875990	1045470	2971570	2763910	2190990	1698860	1040250
8	0.67	Marzo	3171900	3026300	2036040	1517290	855103	3068100	2671530	1757360	1321680	787823	2971460	2335430	1541200	1181430	764588
9	0.75	Abril	3171880	2130820	1558300	1061780	616691	2707920	1764410	1305140	935866	574769	2185420	1441420	1114980	854820	571611
10	0.83	Mayo	2137520	1436550	984264	562378	327985	1705720	1138480	812153	503063	303314	1326240	911909	692958	473155	302811
11	0.92	Junio	1475780	1125180	793550	444835	284478	1152910	896409	654256	393024	258471	901696	715081	552238	368335	253829
12	1	Julio	1360510	1111570	736757	436621	284660	1059680	873134	606241	384253	257469	825429	687269	514829	356543	251960
13	1.08	Agosto	1489370	1174220	824445	442188	296419	1154750	920305	671401	390727	268362	891270	724455	557909	363121	264011
14	1.17	Septiembre	1651870	1346440	1056130	645436	373923	1300470	1076940	854001	560405	336967	1016480	859693	710975	504784	328443
15	1.25	Octubre	3171650	2242450	1534990	922084	514906	2947270	1822840	1247250	802880	472653	2395190	1456460	1022620	732101	467380
16	1.33	Noviembre	3171600	3066540	2334310	1745120	1028570	3067560	2682690	2016210	1507590	937891	2970780	2291050	1729890	1342160	907986
17	1.42	Diciembre	3171530	3171530	3171530	2309940	1395950	3067430	3067430	3033000	2059080	1227670	2970620	2970620	2728100	1862340	1115080
18	1.5	Enero	3171510	3171510	3171510	3012900	2037520	3067390	3067390	3067390	2794180	1896510	2970560	2970560	2970560	2596480	1839850
19	1.58	Febrero	3171440	3171440	2825100	2037630	1102480	3067260	3067260	2492270	1791230	1018480	2970400	2970400	2194230	1609730	996237
20	1.67	Marzo	3171390	3171390	2759920	1752420	844502	3067180	3067180	2392260	1548330	786875	2970290	2769730	2042080	1413120	791032
21	1.75	Abril	3157470	1940370	1480710	916309	526506	2665340	1587340	1217950	798898	476508	2156390	1280170	1001610	733112	463910
22	1.83	Mayo	2520730	1769250	1169170	639927	408137	2024980	1389790	954068	560651	365949	1538810	1080500	791958	522642	358813
23	1.92	Junio	1742390	1325750	908163	531891	361111	1354000	1042550	738572	460722	319655	1032400	813275	614510	423579	307447
24	2	Julio	1587020	1251860	811710	462497	305644	1226680	966047	656704	398939	270292	931639	745140	546590	365795	260247
25	2.08	Agosto	1623390	1237340	806254	432156	289010	1238280	950081	644365	373374	254101	935330	726548	529937	343348	244036
26	2.17	Septiembre	2747660	1771850	1285280	703214	421472	2235320	1402820	1026160	608619	376160	1718780	1092880	830636	555909	362410
27	2.25	Octubre	3171040	2673820	1819900	1159210	617220	3066530	2228310	1499390	1006060	558856	2969480	1796230	1233630	900474	546662
28	2.33	Noviembre	3170990	3170990	2993440	1977780	987291	3066450	3066450	2627090	1739900	914287	2969370	2969370	2254230	1574910	911212
29	2.42	Diciembre	3170950	3170950	3170950	2834710	1781690	3066360	3066360	3066360	2606870	1668580	2969260	2969260	2969260	2465800	1637260
30	2.5	Enero	3170900	3170900	3170900	2734690	1712960	3066270	3066270	3066270	2514120	1567480	2969150	2969150	2969150	2332210	1498390
31	2.58	Febrero	3170850	3170850	2780160	1943750	1098170	3066180	3066180	2455760	1740200	1008870	2969040	2969040	2167030	1591500	992459
32	2.67	Marzo	3170800	3092930	2372060	1489560	736030	3066100	2679820	2008810	1303030	674967	2968930	2245000	1698530	1169500	669408
33	2.75	Abril	3170750	2734700	2002200	1204630	627634	3066010	2307640	1678600	1045150	570007	2861920	1895220	1392980	943058	562289

34	2.83	Mayo	2400450	1614520	1145420	653222	456829	1928490	1285910	924990	568771	402116	1483970	1012110	765963	521787	381926
35	2.92	Junio	1938460	1447410	934153	538476	356492	1505400	1120420	754667	462705	311637	1124020	862536	620594	422681	297648
36	3	Julio	1719930	1333000	811742	434814	306177	1323580	1015500	649496	372385	265762	978799	763190	532538	342249	252161
37	3.08	Agosto	1740410	1348190	870139	455525	303392	1333720	1031590	696358	389706	265097	995242	781281	561596	355180	252742
38	3.17	Septiembre	2702600	1641720	1290420	806845	450174	2209640	1307870	1035270	683052	395704	1728170	1028130	840711	602203	374338
39	3.25	Octubre	3170540	2963180	2077980	1079110	563321	3065610	2486400	1713760	938051	513080	2947600	1982890	1392940	842327	508979
40	3.33	Noviembre	3170510	3170510	3170510	2167630	1183210	3065570	3065570	3031980	1915520	1042260	2968260	2968260	2764000	1709810	951923
41	3.42	Diciembre	3170490	3170490	3170490	3170490	2411980	3065520	3065520	3065520	3065520	2290000	2968200	2968200	2968200	2968200	2290510
42	3.5	Enero	3170460	3170460	3170460	3170460	2632620	3065480	3065480	3065480	3065480	2610170	2968150	2968150	2968150	2968150	2734140
43	3.58	Febrero	3170410	3170410	3077720	2203960	1317070	3065390	3065390	2774950	1970720	1211390	2968030	2968030	2525120	1812070	1176340
44	3.67	Marzo	3170390	3170390	3170390	2327830	1099880	3065340	3065340	2987880	2085050	1016300	2967980	2967980	2637020	1906830	1012790
45	3.75	Abril	3170340	2273250	1730340	1067070	630708	3065260	1893770	1429530	929789	564872	2644360	1548570	1186930	844787	543398
46	3.83	Mayo	2680270	1828360	1203400	648864	442087	2154660	1438280	974434	561328	389438	1633700	1107830	803772	515833	373677
47	3.92	Junio	1975190	1446510	1001100	595071	403075	1541340	1127240	803429	508736	350002	1164940	876296	660294	458761	330799
48	4	Julio	1733540	1353160	879910	510476	351839	1338480	1042370	707349	435361	302776	1005240	796856	579347	392534	284575
49	4.08	Agosto	1760060	1464560	1032690	597127	376490	1366780	1136320	825482	508397	325600	1036260	878858	666848	454818	306634
50	4.17	Septiembre	2897810	1740170	1329400	790441	488565	2396320	1389690	1065330	676274	427292	1868310	1084970	858540	605601	403467
51	4.25	Octubre	3170120	3170120	2164870	1371960	742531	3064850	2802770	1810010	1190330	667874	2967350	2310580	1506220	1066250	649897
52	4.33	Noviembre	3170070	3170070	2780870	1785400	1001340	3064760	3064760	2431210	1575440	917839	2967230	2967230	2106480	1428450	907131
53	4.42	Diciembre	3170020	3170020	3170020	2661160	1587920	3064670	3064670	3064670	2437480	1448070	2967120	2967120	2967120	2253730	1389650
54	4.5	Enero	3169970	3169970	3169970	2802020	1683980	3064580	3064580	3064580	2597030	1536700	2967000	2967000	2967000	2482810	1450830
55	4.58	Febrero	3169920	3169920	3169920	2970450	1428850	3064480	3064480	3064480	2724760	1347410	2966890	2966890	2966890	2525260	1375690
56	4.67	Marzo	3169870	3169870	2466870	1719310	917681	3064390	3064390	2160640	1489220	835542	2966770	2966770	1897930	1330470	805655
57	4.75	Abril	3169790	2438970	1881330	1184770	623950	3064260	2039340	1556580	1017940	553751	2679390	1667430	1295820	905286	526030
58	4.83	Mayo	3055720	1826510	1328470	746949	476447	2551840	1463210	1073010	640930	418224	1994360	1142180	871338	583189	397047
59	4.92	Junio	1981180	1468250	953395	549833	381500	1536940	1132500	756476	470460	328329	1147470	870211	622699	425516	307716
60	5	Julio	1729100	1390010	901417	510750	343273	1326550	1069770	717337	430582	295029	994072	811590	585799	384945	276393
61	5.08	Agosto	1858640	1497810	985710	554570	408732	1447560	1156040	788627	472860	351457	1090290	879595	640880	429050	326722
62	5.17	Septiembre	2052040	1622570	1279770	791332	452721	1645490	1281630	1026890	662241	392519	1296170	1007560	822106	581862	366619
63	5.25	Octubre	3169410	2072970	1682860	1244120	715572	2784000	1723220	1384930	1042550	625679	2278490	1419920	1134450	901839	581501
64	5.33	Noviembre	3169350	3169350	3169350	2420550	1390680	3063460	3063460	3063460	2188850	1264370	2965600	2965600	2836830	2033490	1205940
65	5.42	Diciembre	3169300	3169300	3169300	3169300	2014580	3063370	3063370	3063370	3053470	1911040	2965480	2965480	2965480	2883410	1901850
66	5.5	Enero	3169250	3169250	3169250	3169250	2333250	3063270	3063270	3063270	3063270	2273330	2965360	2965360	2965360	2965360	2361420
67	5.58	Febrero	3169200	3169200	3169200	2911430	1561920	3063180	3063180	3063180	2649630	1456150	2965240	2965240	2965240	2447280	1458750
68	5.67	Marzo	3169150	3169150	2879370	2076190	981330	3063080	3063080	2530170	1842100	891982	2965120	2825270	2214160	1664120	862355
69	5.75	Abril	3169090	2743300	1997020	1115410	578636	3062990	2288500	1661060	962109	515789	2965000	1851380	1364840	876401	499015
70	5.83	Mayo	2416440	1673750	1279770	777889	488929	1946860	1330310	1035210	661929	425393	1491430	1055720	846743	592165	401373
71	5.92	Junio	1983510	1501280	1039620	641625	429716	1560500	1173970	831504	544628	368486	1187830	908542	682843	487357	342573
72	6	Julio	1800370	1451390	996438	566155	379463	1397300	1127750	792843	477028	325424	1055830	860920	643116	427287	303093

73	6.08	Agosto	1794130	1504110	1017020	577196	400991	1398780	1165160	809463	488404	343515	1056830	889032	659126	436328	320348
74	6.17	Septiembre	2815180	1928370	1392630	791689	505132	2312500	1520220	1120350	676319	441563	1791330	1179980	899670	605059	414447
75	6.25	Octubre	3168750	2959140	2147510	1364260	733484	3062360	2513520	1791420	1175000	657679	2964210	2057500	1471080	1044510	638920
76	6.33	Noviembre	3168690	3168690	2832070	2010920	1113090	3062270	3062270	2505420	1768290	997992	2964090	2895850	2201200	1573970	953745
77	6.42	Diciembre	3168610	3168610	3168610	3168610	2319000	3062120	3062120	3062120	3062120	2246710	2963910	2963910	2963910	2963910	2307420
78	6.5	Enero	3168560	3168560	3168560	3168560	1970110	3062020	3062020	3062020	3062020	1835810	2963780	2963780	2963780	2963780	1800360
79	6.58	Febrero	3168480	3168480	3168480	3168480	2016180	3061880	3061880	3061880	3061880	1931650	2963600	2963600	2963600	2963600	1946000
80	6.67	Marzo	3168400	3168400	2503630	1560000	818334	3061730	2996790	2163020	1370550	738896	2963410	2548930	1857330	1241640	729323
81	6.75	Abril	3168340	2950470	2046660	1140150	640430	3061630	2504200	1697310	996531	575914	2963290	2048250	1395550	908188	560293
82	6.83	Mayo	2765050	1856960	1297850	744838	473786	2263130	1479820	1049230	633475	410841	1757450	1152650	853203	571381	386645
83	6.92	Junio	1875010	1464410	1020480	615229	410192	1466120	1142450	817947	517838	349896	1107270	887157	667820	462987	324774
84	7	Julio	1876430	1452790	927107	524195	368166	1452830	1107000	732545	442447	314336	1080520	836441	598226	397729	291557
85	7.08	Agosto	2334200	1614700	1152570	685575	436488	1860570	1260440	923024	578194	374225	1419040	969262	746830	513516	349193
86	7.17	Septiembre	2738870	1964880	1448480	809748	523400	2237540	1573900	1166530	693812	455932	1725270	1221830	940379	620160	429260
87	7.25	Octubre	3167900	2120970	1798480	1197570	653405	2701400	1739070	1471600	1017060	575311	2185590	1408790	1206180	889250	544385
88	7.33	Noviembre	3167840	3167840	2765790	2039110	1244050	3060730	3060730	2448720	1759200	1103230	2962150	2914910	2168220	1556180	1015360
89	7.42	Diciembre	3167780	3167780	3167780	3136970	1817050	3060620	3060620	3060620	2926300	1694300	2962020	2962020	2962020	2791000	1648610
90	7.5	Enero	3167700	3167700	3167700	2910100	1802090	3060470	3060470	3060470	2672190	1645390	2961830	2961830	2961830	2470030	1570580
91	7.58	Febrero	3167640	3167640	3167640	2702490	1531060	3060370	3060370	3060370	2455010	1409010	2961700	2961700	2961700	2258910	1384370
92	7.67	Marzo	3167590	3167590	3167590	2118700	986636	3060270	3060270	2985330	1882780	898295	2961570	2961570	2644650	1712920	879193
93	7.75	Abril	3167530	2987350	2139000	1295850	645163	3060160	2540270	1800020	1115640	575009	2961440	2069440	1493490	1002560	558344
94	7.83	Mayo	3167470	2093230	1376240	722314	464860	2728200	1662140	1104590	623536	404837	2150200	1272430	897702	569838	382026
95	7.92	Junio	2094480	1610680	1173640	730092	462620	1663130	1268290	943712	616757	396514	1293620	988757	772904	546252	367325
96	8	Julio	1768860	1389620	902184	517616	375503	1355290	1065690	719912	434005	319166	1011420	804768	589364	386203	294586
97	8.08	Agosto	2115730	1626790	1087520	601224	413476	1664900	1257320	861037	509211	353638	1254330	951973	696004	455481	329481
98	8.17	Septiembre	2579030	1893420	1367420	743814	438140	2063930	1495220	1086800	624067	380113	1586090	1151730	866551	550675	358727
99	8.25	Octubre	3167150	3167150	2253960	1373990	721642	3059490	2775680	1879950	1181910	638816	2960590	2304370	1539410	1044210	605201
100	8.33	Noviembre	3167070	3167070	3167070	2880050	1658470	3059330	3059330	3059330	2627550	1538290	2960400	2960400	2960400	2436670	1515750
101	8.42	Diciembre	3167010	3167010	3167010	3167010	2327200	3059220	3059220	3059220	3059220	2221520	2960260	2960260	2960260	2960260	2231180
102	8.5	Enero	3166950	3166950	3166950	3166950	2019990	3059120	3059120	3059120	2964220	1905710	2960130	2960130	2960130	2831120	1896620
103	8.58	Febrero	3166890	3166890	3166890	3028190	1494620	3059010	3059010	3059010	2796550	1398500	2960000	2960000	2960000	2626240	1410150
104	8.67	Marzo	3166830	3166830	2838930	2067720	1095460	3058910	3058910	2535000	1822220	982787	2959860	2959860	2278380	1625090	936562
105	8.75	Abril	3166770	2911260	2087300	1366170	769767	3058800	2486930	1759460	1185320	686743	2959730	2052980	1488820	1062780	661329
106	8.83	Mayo	2865300	1875960	1240000	695297	425476	2358080	1479530	994008	593468	366283	1817680	1138700	817357	536204	343928
107	8.92	Junio	1902190	1415240	974533	551709	373643	1472510	1100340	775125	462310	315701	1110170	841070	628772	413670	290362
108	9	Julio	1717480	1379760	893519	537588	370248	1318550	1056930	711972	449595	313340	987861	801045	579866	400197	287049
109	9.08	Agosto	1870210	1453740	994371	540970	379610	1445420	1110780	787947	454002	321976	1072770	841111	628687	404288	298378
110	9.17	Septiembre	2064450	1659040	1279110	768621	460189	1627240	1314220	1012740	644965	393013	1249960	1018870	817719	564631	365218
111	9.25	Octubre	3166410	2801510	1888700	1098600	612614	3058150	2330120	1535380	938854	540139	2958920	1875250	1239800	839801	516858

112	9.33	Noviembre	3166350	3166350	2885070	2141370	1222490	3058040	3058040	2557560	1875500	1105920	2958780	2958780	2239020	1686300	1063050
113	9.42	Diciembre	3166290	3166290	3166290	2827370	1675940	3057930	3057930	3057930	2584190	1480000	2958640	2958640	2958640	2391460	1346990
114	9.5	Enero	3166260	3166260	3166260	3166260	2468230	3057880	3057880	3057880	3057880	2349130	2958570	2958570	2958570	2958570	2333420
115	9.58	Febrero	3166200	3166200	3166200	2447860	1287040	3057770	3057770	3057770	2192180	1185960	2958440	2958440	2766680	2002380	1164250
116	9.67	Marzo	3166140	3166140	3166140	2079100	970326	3057660	3057660	2918840	1860890	891642	2958300	2958300	2548840	1709290	891382
117	9.75	Abril	3166110	2293720	1731730	1049510	604596	3057600	1896910	1424080	901860	530206	2671990	1527920	1163600	815970	502562
118	9.83	Mayo	2975960	2071530	1344330	727135	474474	2430130	1632900	1085880	621459	410775	1858910	1260690	884934	566456	387850
119	9.92	Junio	2026570	1524600	1029720	605037	423856	1577670	1189100	822832	511041	359649	1184700	907622	669526	457609	333188

Modulus (psi)																	
			AC1 (4) h=1.0					AC1 (5) h=1.0					AC1 (6) h=1.0				
N	edad	mes	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	0.08	Agosto	717834	599628	493657	378930	290898	619985	526456	451946	380087	309013	558046	478429	425513	377081	319364
2	0.17	Septiembre	850025	693661	585425	446211	324163	734926	610188	527725	436384	348100	663434	560476	491352	426823	359832
3	0.25	Octubre	1661040	1156970	896544	745282	518848	1426010	1035710	825305	711427	527879	1270300	962423	789199	671608	527723
4	0.33	Noviembre	2768430	1978130	1629760	1356460	1046270	2401330	1765920	1506100	1280270	1051830	2131050	1627040	1408470	1225560	1037890
5	0.42	Diciembre	2887030	2887030	2304820	1849720	1396070	2822610	2641800	2161930	1739240	1378530	2765460	2434210	2044950	1645070	1334030
6	0.5	Enero	2886970	2690750	2118020	1660870	1261680	2822540	2432220	1988590	1617290	1254470	2765380	2239350	1883650	1581200	1224120
7	0.58	Febrero	2886910	2425440	1949280	1559630	1077260	2822460	2185350	1786080	1486650	1110260	2730720	2010580	1668720	1422810	1117380
8	0.67	Marzo	2886790	2043790	1396130	1081860	761885	2822310	1864100	1308480	1022640	762020	2663560	1751290	1232990	984461	751842
9	0.75	Abril	1714830	1186310	976309	808234	598238	1409280	1046610	891329	773126	625078	1221970	961661	837088	747528	637742
10	0.83	Mayo	1037410	742934	605302	457409	320476	877483	653438	552619	446537	340915	788469	600488	518000	435805	351797
11	0.92	Junio	718296	583332	473567	359305	261835	613818	502359	427432	356085	274986	552917	454949	400485	347993	281714
12	1	Julio	653038	553688	447642	344555	262904	549700	476685	406688	339773	275810	485698	429883	379278	335518	282383
13	1.08	Agosto	692641	579303	473365	353045	275424	579008	495909	423313	351828	290046	508813	445091	393222	344720	300313
14	1.17	Septiembre	810069	701412	602277	473337	337747	692159	606728	534942	452337	352175	617815	547143	494442	432415	357675
15	1.25	Octubre	1842280	1160630	864447	684233	483585	1487270	990214	781577	648720	500070	1245370	895872	728101	625107	498142
16	1.33	Noviembre	2886020	1925910	1499570	1221320	910704	2530980	1684800	1355520	1154160	910559	2215830	1509650	1256210	1105060	892549
17	1.42	Diciembre	2885840	2885840	2453240	1720420	1034800	2821070	2821070	2263500	1613780	980277	2763900	2763900	2101440	1497170	934463
18	1.5	Enero	2885780	2885780	2885780	2490040	1834640	2820990	2820990	2820990	2434230	1839230	2763830	2763830	2763830	2365120	1819550
19	1.58	Febrero	2885590	2722710	1951450	1465830	1021580	2820760	2432640	1787800	1398340	1034710	2763590	2240340	1661840	1355970	1020560
20	1.67	Marzo	2885470	2323530	1745400	1313220	849996	2820600	2000520	1563480	1254880	912971	2494730	1788960	1448540	1200870	942458
21	1.75	Abril	1699870	1040180	856853	684749	479283	1402400	906505	774584	649749	500196	1230710	830757	722297	624581	509406
22	1.83	Mayo	1148760	848925	674204	507504	373371	926122	724172	606326	502114	394267	799580	647212	566677	491778	407623
23	1.92	Junio	793933	654772	527292	409069	314000	661114	558401	475332	400262	327320	579659	501607	446397	392784	335924
24	2	Julio	716587	589309	467482	352784	268705	591419	501817	419922	349318	281429	513524	449568	394275	343432	288808
25	2.08	Agosto	709305	567830	444584	332509	249909	578008	474251	397849	328647	261819	502029	423447	369225	321551	269123

26	2.17	Septiembre	1278240	851116	686539	524669	370630	1021520	720664	608389	504521	383465	870081	648548	558508	486029	387007
27	2.25	Octubre	2448060	1428220	1034100	833185	564121	1987520	1214580	929765	789441	580883	1685670	1077910	861969	747256	580266
28	2.33	Noviembre	2884430	2603750	1939280	1454690	961148	2819260	2218440	1731370	1386480	1011660	2762080	1966210	1575830	1311780	1017850
29	2.42	Diciembre	2884310	2884310	2884310	2422610	1640550	2819100	2819100	2819100	2380590	1637960	2761910	2761910	2761910	2311170	1595150
30	2.5	Enero	2884190	2884190	2884190	2205450	1475210	2818940	2818940	2781460	2106020	1456520	2761750	2761750	2660170	1994350	1431050
31	2.58	Febrero	2884060	2884060	1967620	1478850	1022710	2818780	2753220	1834280	1410140	1047730	2761590	2647030	1726280	1342400	1050290
32	2.67	Marzo	2813430	1852410	1430850	1087830	711140	2359750	1580290	1271440	1038650	761100	2032720	1416290	1172920	996668	785049
33	2.75	Abril	2260030	1533910	1172150	884190	589052	1841860	1294430	1045680	849194	622218	1565230	1152080	965734	822393	635155
34	2.83	Mayo	1128580	808984	647926	505519	385338	916876	699113	582594	496392	396687	794410	633275	547380	482982	401567
35	2.92	Junio	849101	675489	528897	402260	305606	690210	567342	474651	394919	318854	598555	507547	442668	389455	326024
36	3	Julio	731245	588556	450963	331258	257680	591359	490647	403512	328408	270646	509069	434796	374922	325269	278531
37	3.08	Agosto	745729	606519	469693	341737	259802	607389	504869	416906	339023	273781	524395	447039	385864	333418	282766
38	3.17	Septiembre	1314120	823827	696392	550658	375171	1065590	713817	611475	515532	381180	915054	648533	561866	483758	379522
39	3.25	Octubre	2324200	1534320	1133340	783057	535734	1872330	1262960	978162	750204	572771	1569680	1083730	879607	725344	590726
40	3.33	Noviembre	2883180	2883180	2583210	1559710	878615	2817650	2817650	2460170	1446180	838928	2760450	2760450	2350130	1334400	791946
41	3.42	Diciembre	2883120	2883120	2883120	2883120	2369720	2817560	2817560	2817560	2817560	2439730	2760370	2760370	2760370	2760370	2429780
42	3.5	Enero	2883060	2883060	2883060	2883060	2889080	2817480	2817480	2817480	2817480	2823020	2760290	2760290	2760290	2760290	2764610
43	3.58	Febrero	2882930	2882930	2298810	1739420	1177120	2817320	2817320	2187020	1691890	1183280	2760120	2743780	2116260	1628760	1169860
44	3.67	Marzo	2882870	2882870	2317590	1763270	1072790	2817240	2688500	2113130	1695590	1133820	2760040	2474030	1964060	1611370	1166500
45	3.75	Abril	2081470	1275070	1004700	791714	557454	1726290	1103960	904148	761543	574804	1489980	999743	857359	728862	582963
46	3.83	Mayo	1204280	862326	676543	497620	384087	951113	723903	600928	493327	404726	802473	641744	558580	483079	417062
47	3.92	Junio	882971	694754	562313	434192	333796	719684	590778	504972	422609	345862	626344	531106	467977	411622	352398
48	4	Julio	759927	620718	494014	373491	286184	621512	518898	440566	365027	296658	539285	463860	408523	356190	301051
49	4.08	Agosto	792928	687103	556076	425318	310849	655624	576792	489316	410572	322132	575108	512167	451761	396651	327536
50	4.17	Septiembre	1412870	856565	708315	560966	402545	1134010	732215	628274	526095	413641	962847	663499	568361	496803	416612
51	4.25	Octubre	2882160	1862800	1273320	981302	666742	2746500	1575010	1133260	914083	685901	2379280	1390870	1037120	857253	689082
52	4.33	Noviembre	2882030	2521450	1829190	1332870	947258	2816160	2147970	1656010	1272620	998506	2568890	1908590	1521630	1230390	1016330
53	4.42	Diciembre	2881900	2881900	2788800	2100940	1393330	2816000	2816000	2548420	1963690	1414950	2758790	2758790	2364750	1852980	1398060
54	4.5	Enero	2881770	2881770	2881770	2457620	1401940	2815830	2815830	2815830	2476350	1373630	2758620	2758620	2758620	2454920	1338950
55	4.58	Febrero	2881640	2881640	2881640	2392570	1493490	2815660	2815660	2815660	2323110	1608910	2758450	2758450	2758450	2297750	1628190
56	4.67	Marzo	2881510	2763010	1723690	1215800	806634	2815500	2522450	1645830	1150340	809311	2758280	2353720	1582820	1123050	785058
57	4.75	Abril	2186500	1374950	1084390	832882	535291	1839860	1196090	963929	781972	548316	1610940	1080640	888183	740770	550465
58	4.83	Mayo	1512070	903420	727180	554413	400678	1204040	769715	646658	536702	414239	1030530	691994	599795	516872	421801
59	4.92	Junio	854982	679003	527134	404882	309720	692956	569147	472799	397261	320268	599963	504829	441285	389120	325225
60	5	Julio	753114	627029	488407	366065	279608	614583	520589	434885	358226	288671	534734	462726	401209	350335	294377
61	5.08	Agosto	825939	679626	535567	408182	325507	670411	569502	474437	398943	333636	578716	502905	439250	390737	336647
62	5.17	Septiembre	1022500	802979	674358	526755	365226	862784	680090	587296	491267	373274	767884	605189	531267	465404	374760
63	5.25	Octubre	1810430	1189940	957555	798274	561222	1489110	1039620	864570	734997	542940	1279270	935035	810153	683108	522606

64	5.33	Noviembre	2880200	2880200	2542790	1924090	1196110	2813800	2813800	2332380	1870630	1190280	2756570	2655820	2151230	1783600	1162470
65	5.42	Diciembre	2880060	2880060	2880060	2795280	1956260	2813630	2813630	2813630	2783690	1987790	2756400	2756400	2756400	2757600	1963310
66	5.5	Enero	2879930	2879930	2879930	2879930	2563430	2813450	2813450	2813450	2813450	2739190	2756220	2756220	2756220	2756220	2741210
67	5.58	Febrero	2879790	2879790	2879790	2352710	1512010	2813280	2813280	2813280	2282070	1572290	2756050	2756050	2756050	2241270	1590230
68	5.67	Marzo	2879660	2446320	1953680	1531940	892342	2813110	2182230	1772750	1426790	932508	2755870	2018120	1632590	1339350	952002
69	5.75	Abril	2591000	1480650	1135710	820024	515257	2210700	1242610	1002970	784087	544223	1966540	1094090	922498	749357	559952
70	5.83	Mayo	1125010	843263	708860	548632	407218	915925	722308	629696	526210	422308	787049	646845	580977	508571	431566
71	5.92	Junio	895046	715624	578548	454541	342659	732497	602681	517660	438088	350175	636930	542346	478486	424368	353466
72	6	Julio	799462	673500	536449	401164	304550	657981	563624	470774	390034	314011	572689	501474	433758	381644	318321
73	6.08	Agosto	803917	685065	544968	411437	320951	658297	570389	482017	400209	329334	570333	503038	444000	390189	333063
74	6.17	Septiembre	1332240	916374	741746	562867	414833	1060610	767304	646287	537589	425475	894389	678348	588045	517331	428011
75	6.25	Octubre	2526150	1647420	1233120	954038	664615	2056280	1384760	1082640	896424	692409	1725680	1218210	983152	847887	705274
76	6.33	Noviembre	2878500	2487320	1952420	1426440	945324	2811620	2235010	1748440	1332850	940254	2754380	2069610	1577120	1241060	918903
77	6.42	Diciembre	2878290	2878290	2878290	2878290	2489770	2811360	2811360	2811360	2811360	2614770	2754110	2754110	2754110	2754110	2644430
78	6.5	Enero	2878160	2878160	2878160	2878160	1833920	2811180	2811180	2811180	2811180	1834490	2753930	2753930	2753930	2753930	1830320
79	6.58	Febrero	2877950	2877950	2877950	2877950	2078900	2810910	2810910	2810910	2810910	2198970	2753660	2753660	2753660	2753660	2237800
80	6.67	Marzo	2877740	2112850	1613960	1174110	762330	2731640	1816850	1460630	1141200	808499	2377110	1631470	1353510	1106220	824260
81	6.75	Abril	2877600	1638820	1160830	858474	584532	2475720	1376650	1036060	821083	618390	2162110	1218370	951692	784547	635977
82	6.83	Mayo	1343830	908495	713152	536717	390423	1100250	763973	629871	518323	405270	952496	678140	580667	500456	410185
83	6.92	Junio	847780	695072	560422	431987	323877	701298	582657	499027	418735	330906	613050	519688	462954	406701	334496
84	7	Julio	804097	645502	502749	378335	292163	648511	535837	446361	370934	301208	558802	474911	412623	362304	306932
85	7.08	Agosto	1062890	756532	620074	478822	347473	861224	637595	546638	455924	353461	740817	569808	502527	436216	355212
86	7.17	Septiembre	1279980	956720	773541	578902	431373	1012960	794620	675622	554981	444433	854682	696841	616496	538448	449038
87	7.25	Octubre	1716330	1145790	995108	796398	546153	1415370	988433	873585	735385	556569	1229230	882787	787156	688913	558349
88	7.33	Noviembre	2876330	2562670	1919830	1425790	964348	2808830	2293240	1750160	1340180	924890	2751560	2098680	1599450	1271400	878673
89	7.42	Diciembre	2876180	2876180	2876180	2728120	1637760	2808650	2808650	2808650	2682610	1638890	2751380	2751380	2751380	2622550	1584910
90	7.5	Enero	2875970	2875970	2875970	2335630	1545170	2808370	2808370	2808370	2236080	1531700	2751100	2751100	2751100	2124200	1497380
91	7.58	Febrero	2875820	2875820	2715930	2131360	1437830	2808180	2808180	2562980	2055790	1472960	2750910	2750910	2469870	1969920	1466320
92	7.67	Marzo	2875680	2875680	2349200	1598700	905992	2808000	2808000	2153760	1539250	932873	2750720	2750720	2029600	1495270	941759
93	7.75	Abril	2559280	1656230	1251190	927548	579360	2097070	1399020	1097500	884172	609781	1784630	1237890	1006930	844259	623914
94	7.83	Mayo	1634910	984723	745420	545458	387487	1296580	820698	660279	530804	403204	1104600	728915	613564	510013	411009
95	7.92	Junio	1000760	785148	646197	505719	363657	829149	669342	576210	481650	370385	732302	602182	533619	460798	372495
96	8	Julio	754197	621327	492730	364951	293756	609738	520380	435408	357121	301501	524103	461118	402280	351059	305919
97	8.08	Agosto	930825	732293	575561	430426	329205	746834	609052	507613	419950	338595	640199	532709	468648	409163	343473
98	8.17	Septiembre	1187010	879134	703443	509825	365816	946058	728465	607046	487545	382316	800003	640524	547289	468343	389019
99	8.25	Octubre	2874580	1886100	1261460	957593	602606	2718140	1620490	1113090	889479	602889	2363020	1448200	1026960	809079	592454
100	8.33	Noviembre	2874360	2874360	2874360	2314660	1559280	2806310	2806310	2782890	2200620	1595680	2749020	2749020	2613360	2102540	1582760
101	8.42	Diciembre	2874210	2874210	2874210	2874210	2296500	2806120	2806120	2806120	2806120	2349850	2748830	2748830	2748830	2748830	2309490
102	8.5	Enero	2874060	2874060	2874060	2770670	1952320	2805930	2805930	2805930	2757660	1984120	2748640	2748640	2748640	2750610	1959870

103	8.58	Febrero	2873910	2873910	2873910	2483090	1502210	2805740	2805740	2805740	2414650	1613060	2748450	2748450	2748450	2348540	1654650
104	8.67	Marzo	2873760	2873760	2100890	1492810	926466	2805550	2805550	1986200	1405690	920421	2748250	2748250	1875230	1343240	908057
105	8.75	Abril	2626250	1661070	1275490	990481	682410	2143530	1429080	1138350	935300	711822	1826080	1280850	1043690	892646	725762
106	8.83	Mayo	1365290	886731	688308	503477	349163	1109340	748633	612720	482969	363860	957964	673159	564247	465577	372476
107	8.92	Junio	839456	655873	520483	390289	286754	693272	547593	461246	379551	292653	604710	488430	425866	367676	295451
108	9	Julio	743655	617839	488216	372902	285993	603747	514902	434537	360856	293832	523162	457985	401218	352005	296622
109	9.08	Agosto	792571	647140	518296	380955	298195	638201	538271	451972	372977	308113	546330	472256	414052	362553	313757
110	9.17	Septiembre	951144	799523	670095	514266	363293	784772	670882	581088	483658	372370	683396	591568	528569	456888	374268
111	9.25	Octubre	2505520	1470700	1021640	771658	524191	2020210	1223550	905321	721763	537197	1668470	1080730	826605	688608	531069
112	9.33	Noviembre	2872550	2579200	1964090	1543710	1078610	2804000	2279150	1779660	1465140	1085980	2746690	2057030	1649640	1401540	1062850
113	9.42	Diciembre	2872400	2872400	2872400	2254480	1250540	2803800	2803800	2803800	2126060	1182820	2746490	2746490	2746490	2000810	1118160
114	9.5	Enero	2872320	2872320	2872320	2872320	2381720	2803700	2803700	2803700	2803700	2425620	2746390	2746390	2746390	2746390	2433880
115	9.58	Febrero	2872170	2872170	2513090	1846900	1210780	2803510	2803510	2328440	1779100	1234670	2746190	2746190	2189080	1727490	1228270
116	9.67	Marzo	2872010	2872010	2213850	1614020	967718	2803310	2593240	1994500	1554520	1052300	2746000	2347140	1859500	1479860	1105410
117	9.75	Abril	2135240	1222230	973310	752363	510642	1752620	1046640	866905	706697	529265	1528750	942372	796156	673972	536696
118	9.83	Mayo	1364050	963700	737071	541156	394177	1075220	798378	652070	530459	411524	896728	697718	602587	515830	422748
119	9.92	Junio	888376	711337	562356	431647	332252	716898	594010	501639	417416	340138	614692	526144	464568	406375	346115

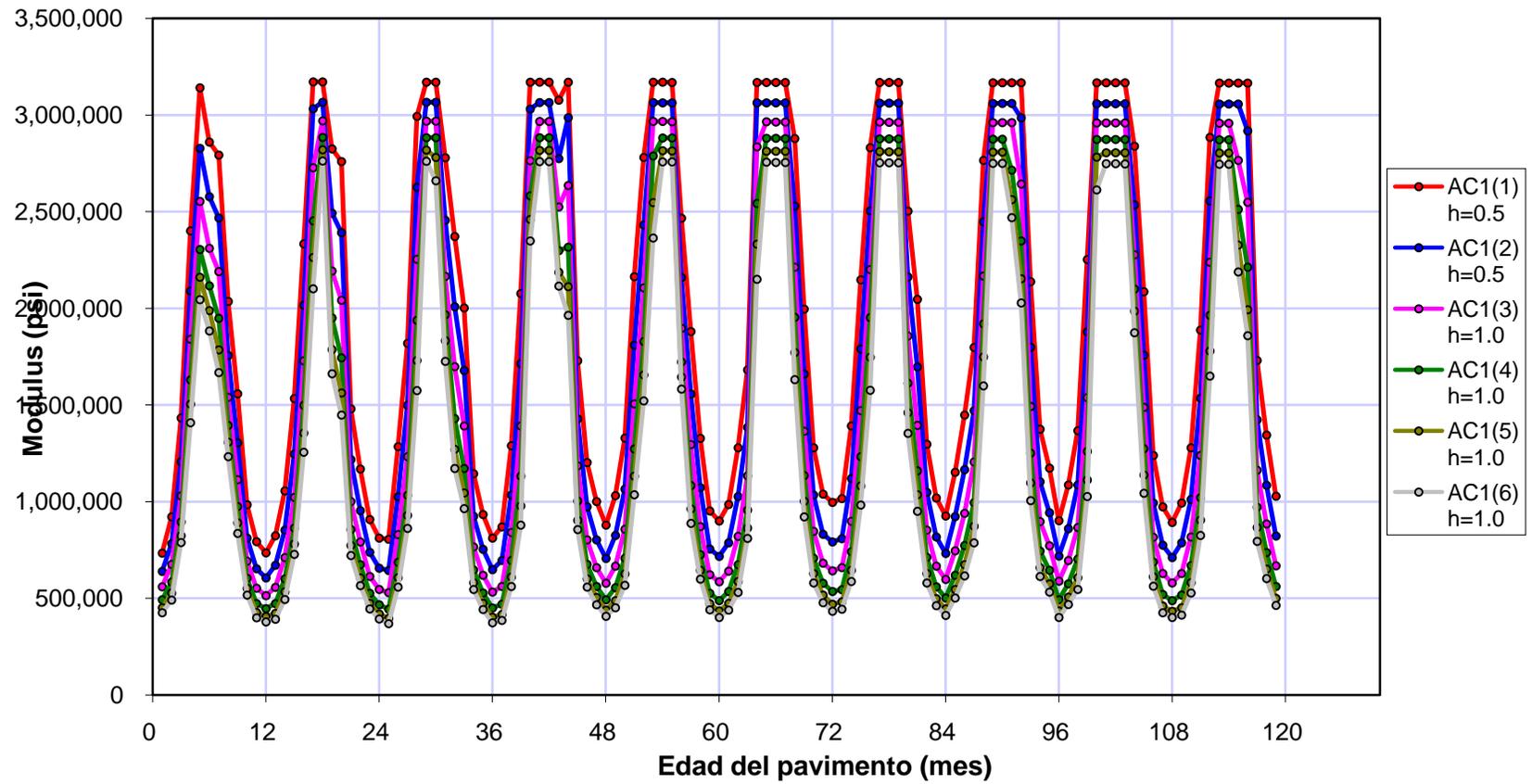
Modulus (psi)									
N	edad	mes	GB2 (7)	NSG3 (8)	NSG4 (9)	NSG4 (10)	NSG4 (11)	NSG4 (12)	NSG4 (13)
			h=3.0	h=3.0	h=24.1	h=24.1	h=24.1	h=24.1	h=246.7
1	0.08	Agosto	45510	50295	7457	6214	7510	8824	8815
2	0.17	Septiembre	45510	50403	7288	6134	7155	8717	8806
3	0.25	Octubre	45510	50349	7164	6090	6915	8557	8797
4	0.33	Noviembre	45510	50241	7066	6063	6764	8362	8788
5	0.42	Diciembre	45510	50105	6977	6054	6631	8176	8779
6	0.5	Enero	45510	49970	6906	6036	6525	7980	8770
7	0.58	Febrero	45510	49835	6835	6027	6445	7803	8762
8	0.67	Marzo	45510	49726	6791	6019	6383	7643	8744
9	0.75	Abril	45510	49618	6738	6010	6338	7492	8735
10	0.83	Mayo	45510	49510	6702	6001	6303	7341	8717
11	0.92	Junio	45510	49428	6667	5992	6267	7226	8708
12	1	Julio	45510	49374	6640	6010	6232	7128	8691
13	1.08	Agosto	45510	49293	6622	5992	6214	7022	8673
14	1.17	Septiembre	45510	49239	6596	5956	6178	6942	8655
15	1.25	Octubre	45510	49185	6578	5948	6134	6862	8646
16	1.33	Noviembre	45510	49158	6560	5974	6116	6782	8628

17	1.42	Diciembre	45510	49103	6551	5992	6125	6720	8602
18	1.5	Enero	45510	49076	6542	6001	6116	6684	8593
19	1.58	Febrero	45510	49049	6542	6045	6116	6622	8566
20	1.67	Marzo	45510	49049	6551	6099	6134	6596	8549
21	1.75	Abril	45510	49076	6569	6099	6143	6569	8531
22	1.83	Mayo	45510	49103	6578	6152	6152	6542	8513
23	1.92	Junio	45510	49130	6596	6116	6161	6516	8495
24	2	Julio	45510	49158	6604	6116	6161	6516	8469
25	2.08	Agosto	45510	49185	6613	6178	6170	6498	8451
26	2.17	Septiembre	45510	49212	6640	6258	6214	6489	8433
27	2.25	Octubre	45510	49239	6667	6267	6249	6480	8415
28	2.33	Noviembre	45510	49293	6684	6223	6267	6480	8398
29	2.42	Diciembre	45510	49320	6702	6276	6267	6480	8380
30	2.5	Enero	45510	49374	6720	6294	6285	6480	8362
31	2.58	Febrero	45510	49401	6747	6409	6312	6489	8344
32	2.67	Marzo	45510	49455	6773	6471	6356	6489	8327
33	2.75	Abril	45510	49510	6818	6560	6409	6498	8309
34	2.83	Mayo	45510	49564	6862	6480	6436	6525	8300
35	2.92	Junio	45510	49618	6880	6498	6427	6542	8282
36	3	Julio	45510	49672	6906	6489	6436	6560	8264
37	3.08	Agosto	45510	49726	6933	6551	6454	6578	8256
38	3.17	Septiembre	45510	49753	6951	6569	6480	6587	8247
39	3.25	Octubre	45510	49780	6977	6542	6498	6604	8229
40	3.33	Noviembre	45510	49835	6995	6596	6507	6613	8220
41	3.42	Diciembre	45510	49862	7004	6462	6516	6622	8211
42	3.5	Enero	45510	49862	7004	6383	6471	6631	8202
43	3.58	Febrero	45510	49889	6977	6294	6409	6631	8185
44	3.67	Marzo	45510	49862	6951	6214	6347	6622	8176
45	3.75	Abril	45510	49835	6906	6116	6276	6596	8158
46	3.83	Mayo	45510	49780	6853	6090	6214	6560	8149
47	3.92	Junio	45510	49726	6809	6054	6170	6516	8140
48	4	Julio	45510	49645	6764	6019	6125	6471	8122
49	4.08	Agosto	45510	49564	6720	5965	6081	6427	8114
50	4.17	Septiembre	45510	49483	6667	5885	6010	6383	8096
51	4.25	Octubre	45510	49374	6613	5841	5948	6338	8078
52	4.33	Noviembre	45510	49266	6560	5814	5894	6276	8060
53	4.42	Diciembre	45510	49130	6516	5814	5859	6214	8043
54	4.5	Enero	45510	49022	6480	5814	5841	6170	8025
55	4.58	Febrero	45510	48941	6445	5814	5823	6125	8007

56	4.67	Marzo	45510	48860	6427	5814	5814	6090	7989
57	4.75	Abril	45510	48805	6409	5832	5814	6054	7963
58	4.83	Mayo	45510	48751	6400	5859	5814	6027	7945
59	4.92	Junio	45510	48724	6400	5877	5823	6010	7918
60	5	Julio	45510	48697	6409	5921	5832	5992	7901
61	5.08	Agosto	45510	48724	6418	5921	5841	5983	7874
62	5.17	Septiembre	45510	48724	6427	6010	5868	5983	7856
63	5.25	Octubre	45510	48751	6454	6054	5912	5992	7830
64	5.33	Noviembre	45510	48805	6480	6027	5939	6010	7812
65	5.42	Diciembre	45510	48887	6489	6019	5956	6019	7794
66	5.5	Enero	45510	48914	6498	5983	5956	6027	7776
67	5.58	Febrero	45510	48941	6498	6010	5956	6036	7759
68	5.67	Marzo	45510	48941	6507	5983	5956	6036	7741
69	5.75	Abril	45510	48968	6507	5983	5956	6036	7723
70	5.83	Mayo	45510	48968	6507	5930	5930	6036	7705
71	5.92	Junio	45510	48968	6489	5885	5885	6027	7687
72	6	Julio	45510	48941	6471	5832	5841	6010	7670
73	6.08	Agosto	45510	48887	6436	5788	5806	5983	7652
74	6.17	Septiembre	45510	48833	6409	5761	5770	5948	7634
75	6.25	Octubre	45510	48751	6374	5752	5743	5912	7608
76	6.33	Noviembre	45510	48670	6356	5761	5735	5885	7590
77	6.42	Diciembre	45510	48616	6338	5761	5726	5859	7563
78	6.5	Enero	45510	48562	6329	5788	5726	5841	7545
79	6.58	Febrero	45510	48535	6329	5788	5743	5832	7519
80	6.67	Marzo	45510	48507	6320	5779	5743	5823	7492
81	6.75	Abril	45510	48480	6320	5788	5743	5814	7474
82	6.83	Mayo	45510	48480	6320	5806	5743	5814	7448
83	6.92	Junio	45510	48480	6320	5823	5752	5814	7421
84	7	Julio	45510	48480	6329	5823	5761	5814	7403
85	7.08	Agosto	45510	48480	6329	5850	5770	5814	7377
86	7.17	Septiembre	45510	48507	6347	5885	5788	5814	7359
87	7.25	Octubre	45510	48535	6365	5885	5797	5823	7332
88	7.33	Noviembre	45510	48589	6374	5877	5806	5823	7315
89	7.42	Diciembre	45510	48616	6374	5850	5797	5823	7297
90	7.5	Enero	45510	48616	6374	5832	5788	5823	7270
91	7.58	Febrero	45510	48616	6365	5823	5779	5823	7253
92	7.67	Marzo	45510	48616	6365	5823	5770	5823	7235
93	7.75	Abril	45510	48589	6356	5797	5770	5823	7217
94	7.83	Mayo	45510	48589	6347	5779	5752	5814	7199

95	7.92	Junio	45510	48562	6338	5770	5735	5806	7173
96	8	Julio	45510	48535	6329	5797	5735	5797	7155
97	8.08	Agosto	45510	48507	6329	5814	5743	5797	7137
98	8.17	Septiembre	45510	48507	6329	5823	5752	5797	7119
99	8.25	Octubre	45510	48507	6338	5841	5761	5797	7102
100	8.33	Noviembre	45510	48507	6347	5859	5770	5797	7075
101	8.42	Diciembre	45510	48535	6356	5903	5788	5797	7057
102	8.5	Enero	45510	48562	6374	5912	5797	5806	7039
103	8.58	Febrero	45510	48616	6383	5859	5797	5814	7022
104	8.67	Marzo	45510	48643	6383	5859	5788	5814	7004
105	8.75	Abril	45510	48643	6383	5877	5788	5814	6986
106	8.83	Mayo	45510	48643	6383	5894	5797	5814	6968
107	8.92	Junio	45510	48670	6391	5912	5806	5814	6951
108	9	Julio	45510	48670	6409	5939	5814	5814	6933
109	9.08	Agosto	45510	48697	6418	5939	5832	5823	6915
110	9.17	Septiembre	45510	48724	6427	5921	5823	5823	6897
111	9.25	Octubre	45510	48751	6427	5912	5823	5823	6880
112	9.33	Noviembre	45510	48778	6436	5948	5832	5823	6862
113	9.42	Diciembre	45510	48778	6445	5956	5841	5832	6844
114	9.5	Enero	45510	48805	6454	5974	5850	5832	6835
115	9.58	Febrero	45510	48833	6462	6019	5885	5850	6818
116	9.67	Marzo	45510	48860	6489	6072	5903	5877	6800
117	9.75	Abril	45510	48914	6516	6072	5921	5877	6791
118	9.83	Mayo	45510	48968	6533	6125	5939	5885	6773
119	9.92	Junio	45510	48995	6560	6099	5956	5894	6764

### Asphalt Sub-Layers Modulus Vs Time



## Agrietamiento por fatiga: Proyecto SAN ANDRES - BELLA VISTA.dgp

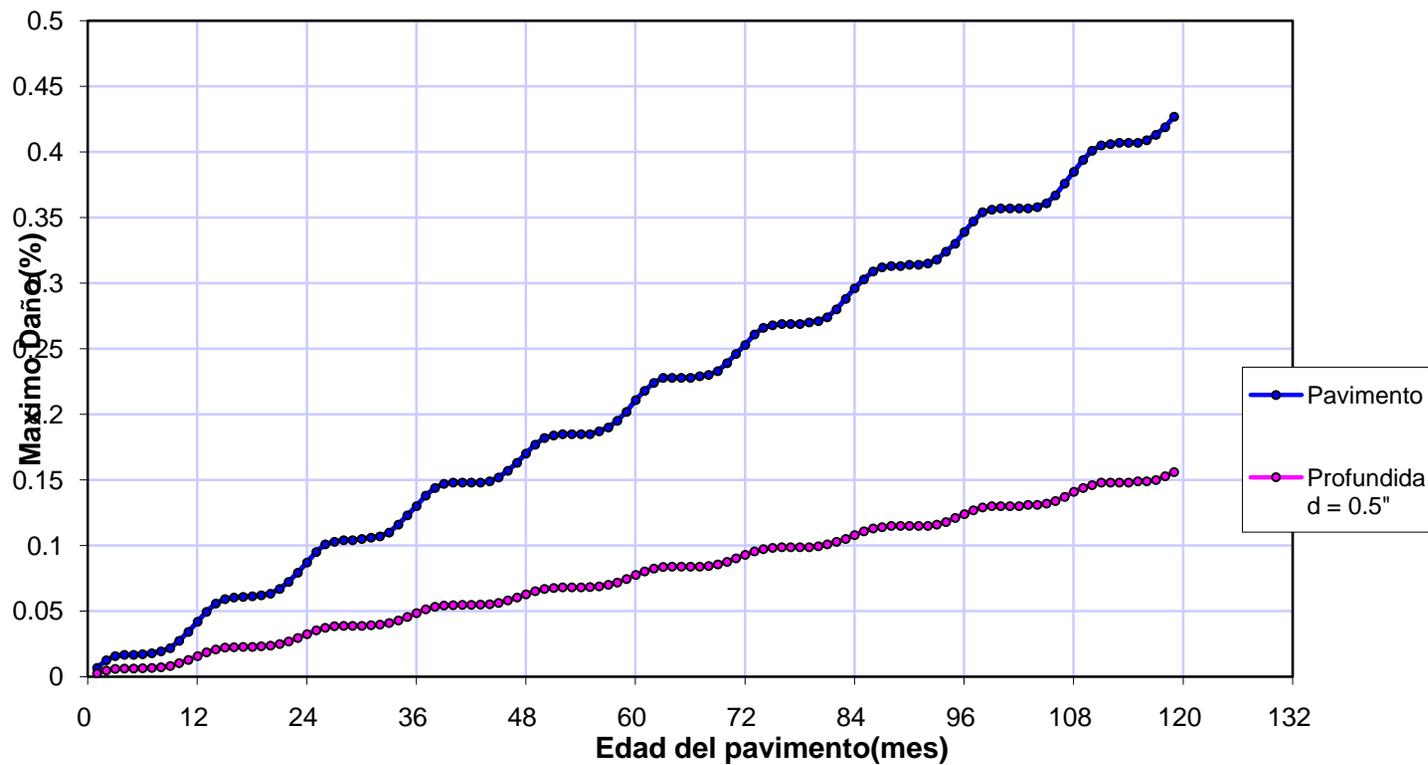
Edad pavimento		Mes	Arrib-abajo superf.			Arrib-abajo a 0.5"			Abajo-arrib a h <sub>ac</sub>			Confiab	
			Daño max. (%)	Agriet Max. (ft/mi)	Ubic (in)	Daño max. (%)	Agriet max (ft/mi)	Ubic (in)	Daño max. (%)	Agriet Max (%)	Ubic (in)	Arrib-abajo (ft/mi)	Agriet abajo-arrib (%)
mes	año												
1	0.08	Agosto	0.0067	0	0	0.00255	0	0	0.0039	0	0	174.36	0.95
2	0.17	Septiembre	0.0124	0.01	0	0.00472	0	0	0.0074	0	0	179.03	0.95
3	0.25	Octubre	0.0155	0.02	0	0.00587	0	0	0.0098	0	0	181.5	0.95
4	0.33	Noviembre	0.0163	0.02	0	0.00615	0	0	0.0108	0	0	182.13	0.95
5	0.42	Diciembre	0.0165	0.02	0	0.00624	0	0	0.0114	0	0	182.28	0.95
6	0.5	Enero	0.0169	0.02	0	0.00638	0	0	0.0122	0	0	182.6	0.95
7	0.58	Febrero	0.0176	0.02	0	0.00662	0	0	0.0133	0	0	183.15	0.95
8	0.67	Marzo	0.019	0.02	0	0.00712	0.01	0	0.0146	0	0	184.24	0.95
9	0.75	Abril	0.0216	0.03	0	0.00808	0.01	0	0.0169	0	0	186.25	0.96
10	0.83	Mayo	0.027	0.04	0	0.0101	0.01	0	0.0204	0.01	0	190.38	0.96
11	0.92	Junio	0.0337	0.06	0	0.0127	0.01	0	0.0242	0.01	0	195.4	0.96
12	1	Julio	0.0413	0.08	0	0.0155	0.02	0	0.0281	0.01	0	201.01	0.96
13	1.08	Agosto	0.0488	0.1	0	0.0183	0.02	0	0.0323	0.01	0	206.45	0.96
14	1.17	Septiembre	0.0548	0.12	0	0.0205	0.03	0	0.0359	0.01	0	210.74	0.96
15	1.25	Octubre	0.0583	0.13	0	0.0218	0.03	0	0.0383	0.01	0	213.23	0.96
16	1.33	Noviembre	0.0593	0.13	0	0.0222	0.03	0	0.0396	0.01	0	213.93	0.96
17	1.42	Diciembre	0.0598	0.13	0	0.0223	0.03	0	0.0403	0.01	0	214.29	0.96
18	1.5	Enero	0.0602	0.14	0	0.0225	0.03	0	0.0412	0.01	0	214.57	0.96
19	1.58	Febrero	0.061	0.14	0	0.0228	0.03	0	0.0424	0.01	0	215.13	0.96
20	1.67	Marzo	0.0623	0.14	0	0.0233	0.03	0	0.044	0.01	0	216.05	0.96
21	1.75	Abril	0.0658	0.15	0	0.0246	0.03	0	0.0465	0.01	0	218.5	0.97
22	1.83	Mayo	0.0712	0.17	0	0.0266	0.04	0	0.0501	0.02	0	222.26	0.97
23	1.92	Junio	0.078	0.2	0	0.0291	0.04	0	0.054	0.02	0	226.95	0.97
24	2	Julio	0.0855	0.23	0	0.0319	0.05	0	0.0583	0.02	0	232.07	0.97
25	2.08	Agosto	0.0936	0.26	0	0.0349	0.06	0	0.0627	0.02	0	237.54	0.97
26	2.17	Septiembre	0.0988	0.29	0	0.0368	0.06	0	0.0661	0.02	0	241.02	0.97
27	2.25	Octubre	0.102	0.3	0	0.0378	0.07	0	0.0684	0.02	0	243.15	0.97
28	2.33	Noviembre	0.103	0.3	0	0.0381	0.07	0	0.0696	0.02	0	243.81	0.97
29	2.42	Diciembre	0.103	0.3	0	0.0382	0.07	0	0.0702	0.02	0	243.81	0.97
30	2.5	Enero	0.103	0.3	0	0.0383	0.07	0	0.0709	0.02	0	243.81	0.98

31	2.58	Febrero	0.104	0.31	0	0.0386	0.07	0	0.072	0.02	0	244.47	0.98
32	2.67	Marzo	0.106	0.32	0	0.0393	0.07	0	0.0739	0.03	0	245.8	0.98
33	2.75	Abril	0.108	0.33	0	0.0402	0.07	0	0.0761	0.03	0	247.12	0.98
34	2.83	Mayo	0.114	0.35	0	0.0422	0.08	0	0.0795	0.03	0	251.06	0.98
35	2.92	Junio	0.12	0.39	0	0.0447	0.09	0	0.0834	0.03	0	254.98	0.98
36	3	Julio	0.128	0.42	0	0.0476	0.09	0	0.0877	0.03	0	260.16	0.98
37	3.08	Agosto	0.136	0.47	0	0.0505	0.1	0	0.092	0.03	0	265.29	0.98
38	3.17	Septiembre	0.141	0.49	0	0.0524	0.11	0	0.0953	0.03	0	268.48	0.98
39	3.25	Octubre	0.144	0.51	0	0.0535	0.11	0	0.0978	0.03	0	270.38	0.99
40	3.33	Noviembre	0.145	0.51	0	0.0538	0.11	0	0.0986	0.04	0	271.01	0.99
41	3.42	Diciembre	0.145	0.51	0	0.0538	0.11	0	0.0991	0.04	0	271.01	0.99
42	3.5	Enero	0.145	0.51	0	0.0539	0.11	0	0.0998	0.04	0	271.01	0.99
43	3.58	Febrero	0.146	0.52	0	0.0541	0.11	0	0.101	0.04	0	271.64	0.99
44	3.67	Marzo	0.147	0.52	0	0.0543	0.12	0	0.102	0.04	0	272.27	0.99
45	3.75	Abril	0.149	0.54	0	0.0554	0.12	0	0.104	0.04	0	273.54	0.99
46	3.83	Mayo	0.155	0.56	0	0.0572	0.12	0	0.108	0.04	0	277.3	0.99
47	3.92	Junio	0.161	0.6	0	0.0594	0.13	0	0.112	0.04	0	281.05	0.99
48	4	Julio	0.167	0.64	0	0.0619	0.14	0	0.116	0.04	0	284.77	0.99
49	4.08	Agosto	0.174	0.67	0	0.0642	0.15	0	0.121	0.04	0	289.09	1
50	4.17	Septiembre	0.179	0.7	0	0.0659	0.15	0	0.124	0.05	0	292.15	1
51	4.25	Octubre	0.181	0.71	0	0.0666	0.16	0	0.126	0.05	0	293.37	1
52	4.33	Noviembre	0.181	0.72	0	0.0669	0.16	0	0.127	0.05	0	293.38	1
53	4.42	Diciembre	0.182	0.72	0	0.067	0.16	0	0.128	0.05	0	293.98	1
54	4.5	Enero	0.182	0.72	0	0.0671	0.16	0	0.129	0.05	0	293.98	1
55	4.58	Febrero	0.182	0.72	0	0.0672	0.16	0	0.13	0.05	0	293.98	1
56	4.67	Marzo	0.184	0.73	0	0.0677	0.16	0	0.131	0.05	0	295.2	1
57	4.75	Abril	0.187	0.75	0	0.0688	0.17	0	0.134	0.05	0	297.02	1
58	4.83	Mayo	0.192	0.78	0	0.0707	0.17	0	0.137	0.05	0	300.05	1
59	4.92	Junio	0.199	0.83	0	0.0734	0.18	0	0.142	0.05	0	304.26	1
60	5	Julio	0.207	0.88	0	0.0763	0.19	0	0.146	0.06	0	309.05	1.01
61	5.08	Agosto	0.215	0.93	0	0.079	0.2	0	0.151	0.06	0	313.79	1.01
62	5.17	Septiembre	0.221	0.97	0	0.0811	0.21	0	0.155	0.06	0	317.33	1.01
63	5.25	Octubre	0.224	0.99	0	0.0823	0.22	0	0.158	0.06	0	319.09	1.01
64	5.33	Noviembre	0.224	0.99	0	0.0824	0.22	0	0.158	0.06	0	319.09	1.01
65	5.42	Diciembre	0.224	0.99	0	0.0825	0.22	0	0.159	0.06	0	319.1	1.01
66	5.5	Enero	0.224	0.99	0	0.0825	0.22	0	0.16	0.06	0	319.1	1.01
67	5.58	Febrero	0.225	1	0	0.0826	0.22	0	0.161	0.06	0	319.68	1.01

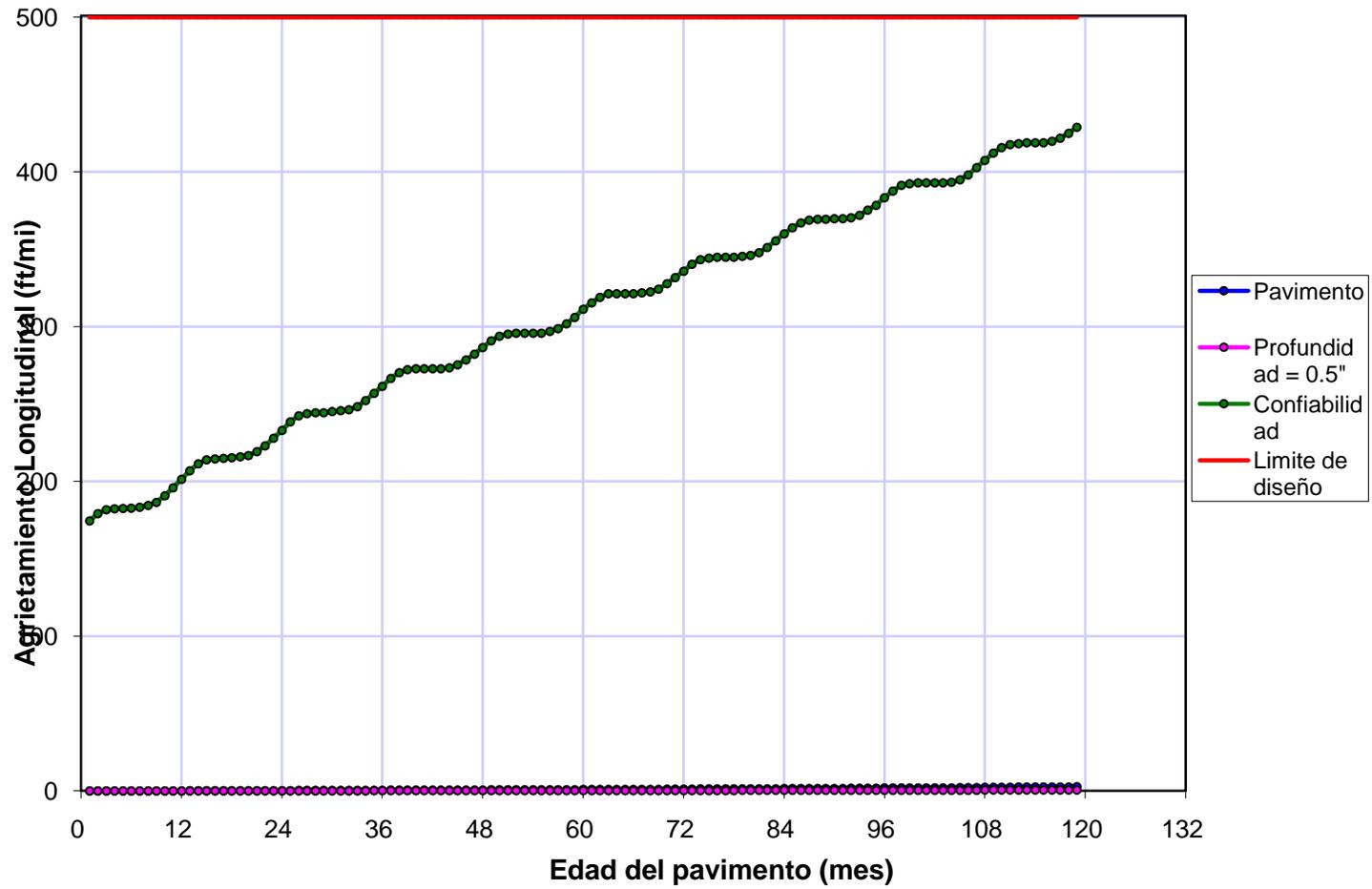
68	5.67	Marzo	0.226	1	0	0.083	0.22	0	0.162	0.06	0	320.26	1.01
69	5.75	Abril	0.229	1.02	0	0.0842	0.22	0	0.165	0.06	0	322.01	1.01
70	5.83	Mayo	0.235	1.06	0	0.0862	0.23	0	0.169	0.06	0	325.51	1.02
71	5.92	Junio	0.241	1.11	0	0.0887	0.24	0	0.173	0.07	0	329	1.02
72	6	Julio	0.249	1.16	0	0.0914	0.25	0	0.178	0.07	0	333.6	1.02
73	6.08	Agosto	0.256	1.21	0	0.094	0.27	0	0.183	0.07	0	337.6	1.02
74	6.17	Septiembre	0.261	1.25	0	0.0957	0.27	0	0.186	0.07	0	340.46	1.02
75	6.25	Octubre	0.264	1.27	0	0.0967	0.28	0	0.189	0.07	0	342.16	1.02
76	6.33	Noviembre	0.265	1.28	0	0.097	0.28	0	0.19	0.07	0	342.73	1.03
77	6.42	Diciembre	0.265	1.28	0	0.097	0.28	0	0.191	0.07	0	342.73	1.03
78	6.5	Enero	0.265	1.28	0	0.0971	0.28	0	0.192	0.08	0	342.73	1.03
79	6.58	Febrero	0.265	1.28	0	0.0972	0.28	0	0.193	0.08	0	342.73	1.03
80	6.67	Marzo	0.267	1.29	0	0.0978	0.28	0	0.195	0.08	0	343.85	1.03
81	6.75	Abril	0.27	1.31	0	0.0989	0.29	0	0.198	0.08	0	345.55	1.03
82	6.83	Mayo	0.275	1.36	0	0.101	0.29	0	0.201	0.08	0	348.38	1.03
83	6.92	Junio	0.283	1.41	0	0.104	0.31	0	0.206	0.08	0	352.85	1.03
84	7	Julio	0.291	1.47	0	0.107	0.32	0	0.211	0.08	0	357.3	1.03
85	7.08	Agosto	0.298	1.53	0	0.109	0.33	0	0.216	0.09	0	361.18	1.04
86	7.17	Septiembre	0.303	1.57	0	0.111	0.34	0	0.22	0.09	0	363.93	1.04
87	7.25	Octubre	0.307	1.6	0	0.112	0.35	0	0.223	0.09	0	366.12	1.04
88	7.33	Noviembre	0.308	1.61	0	0.113	0.35	0	0.224	0.09	0	366.67	1.04
89	7.42	Diciembre	0.308	1.61	0	0.113	0.35	0	0.225	0.09	0	366.67	1.04
90	7.5	Enero	0.308	1.61	0	0.113	0.35	0	0.226	0.09	0	366.67	1.04
91	7.58	Febrero	0.309	1.61	0	0.113	0.35	0	0.227	0.09	0	367.21	1.04
92	7.67	Marzo	0.31	1.62	0	0.113	0.35	0	0.228	0.09	0	367.76	1.04
93	7.75	Abril	0.313	1.64	0	0.114	0.36	0	0.231	0.09	0	369.39	1.04
94	7.83	Mayo	0.318	1.69	0	0.116	0.37	0	0.235	0.09	0	372.13	1.05
95	7.92	Junio	0.325	1.74	0	0.119	0.38	0	0.239	0.1	0	375.91	1.05
96	8	Julio	0.333	1.81	0	0.122	0.39	0	0.245	0.1	0	380.22	1.05
97	8.08	Agosto	0.341	1.88	0	0.125	0.41	0	0.249	0.1	0	384.51	1.05
98	8.17	Septiembre	0.348	1.93	0	0.127	0.42	0	0.254	0.1	0	388.23	1.06
99	8.25	Octubre	0.35	1.95	0	0.128	0.42	0	0.256	0.11	0	389.29	1.06
100	8.33	Noviembre	0.35	1.96	0	0.128	0.42	0	0.257	0.11	0	389.3	1.06
101	8.42	Diciembre	0.351	1.96	0	0.128	0.42	0	0.258	0.11	0	389.82	1.06
102	8.5	Enero	0.351	1.96	0	0.128	0.42	0	0.259	0.11	0	389.82	1.06
103	8.58	Febrero	0.351	1.96	0	0.128	0.42	0	0.26	0.11	0	389.82	1.06
104	8.67	Marzo	0.352	1.97	0	0.129	0.43	0	0.262	0.11	0	390.36	1.06

105	8.75	Abril	0.355	1.99	0	0.13	0.43	0	0.264	0.11	0	391.94	1.06
106	8.83	Mayo	0.361	2.05	0	0.132	0.44	0	0.269	0.11	0	395.11	1.06
107	8.92	Junio	0.37	2.12	0	0.135	0.46	0	0.274	0.11	0	399.82	1.06
108	9	Julio	0.379	2.2	0	0.138	0.48	0	0.279	0.12	0	404.51	1.07
109	9.08	Agosto	0.388	2.28	0	0.142	0.49	0	0.284	0.12	0	409.16	1.07
110	9.17	Septiembre	0.395	2.34	0	0.144	0.51	0	0.289	0.12	0	412.76	1.07
111	9.25	Octubre	0.398	2.38	0	0.145	0.51	0	0.292	0.12	0	414.31	1.07
112	9.33	Noviembre	0.399	2.38	0	0.146	0.52	0	0.294	0.12	0	414.82	1.07
113	9.42	Diciembre	0.4	2.39	0	0.146	0.52	0	0.295	0.12	0	415.33	1.07
114	9.5	Enero	0.4	2.39	0	0.146	0.52	0	0.296	0.12	0	415.33	1.08
115	9.58	Febrero	0.4	2.4	0	0.146	0.52	0	0.297	0.12	0	415.34	1.08
116	9.67	Marzo	0.402	2.41	0	0.146	0.52	0	0.298	0.13	0	416.35	1.08
117	9.75	Abril	0.406	2.44	0	0.148	0.53	0	0.302	0.13	0	418.38	1.08
118	9.83	Mayo	0.412	2.5	0	0.15	0.54	0	0.306	0.13	0	421.44	1.08
119	9.92	Junio	0.42	2.57	0	0.153	0.56	0	0.311	0.13	0	425.48	1.08
120	10	Julio	0.429	2.66	0	0.156	0.57	0	0.317	0.13	0	430.01	1.09

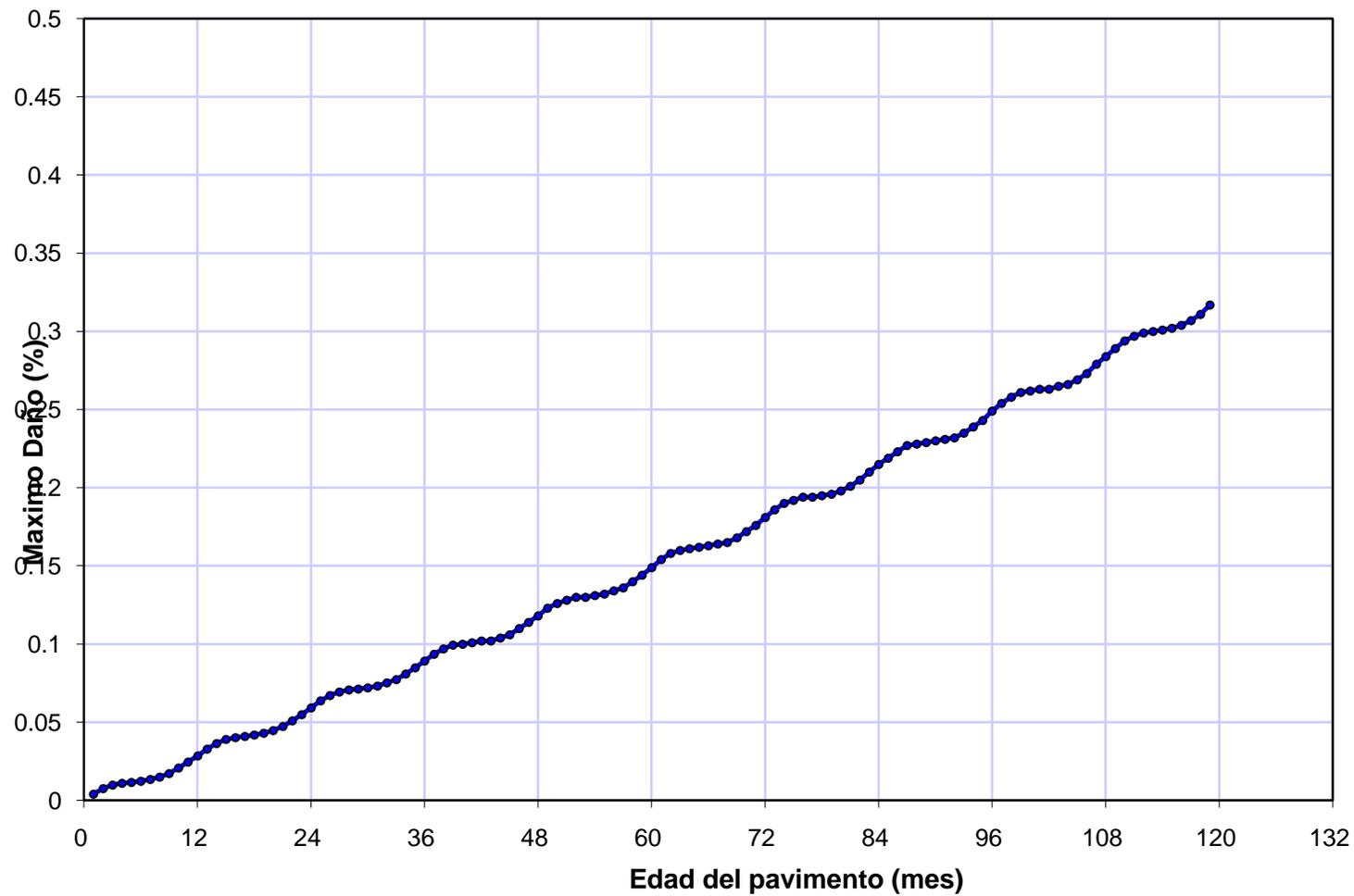
### Agritemiento Longitudinal del pavimento hacia abajo



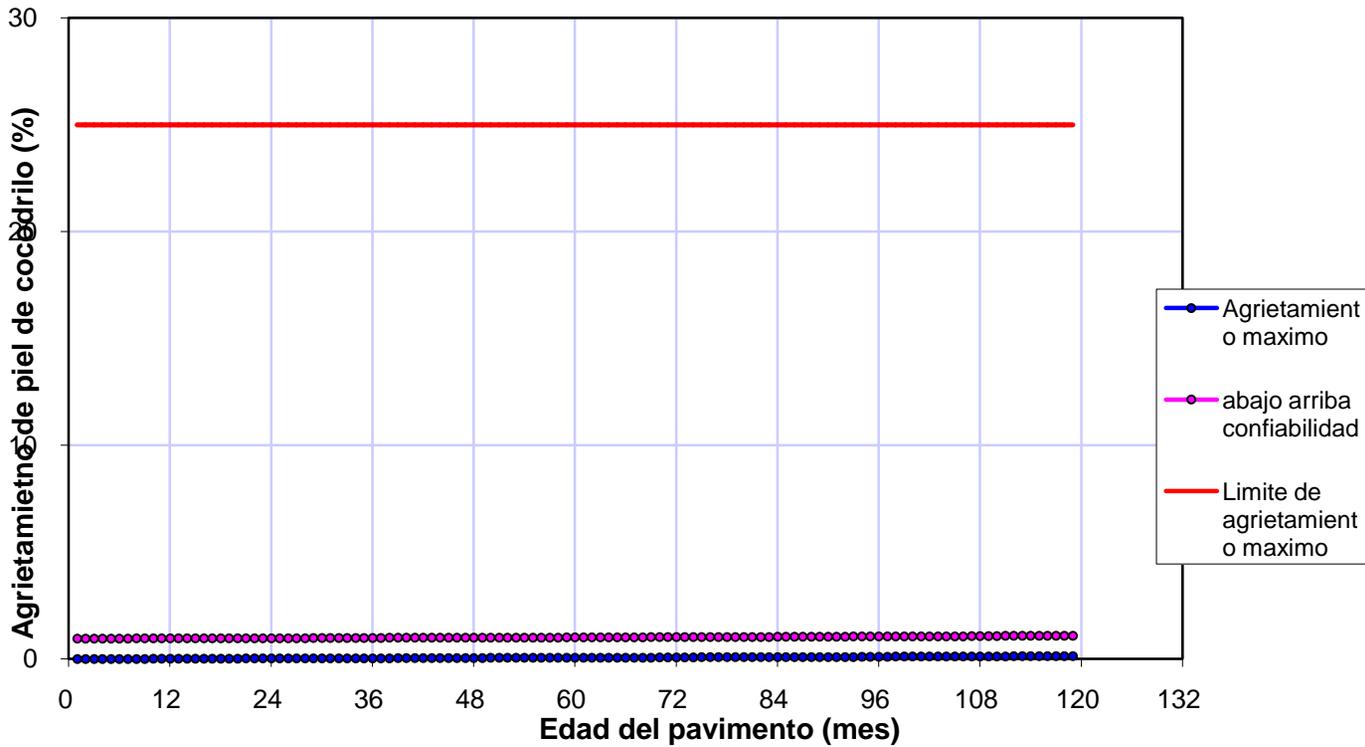
### Agritemiento Longitudinal del pavimento hacia abajo



### Daño de abajo hacia arriba del agrietamiento de la piel de cocodrilo



### Agritemiento de abajo hacia arriba de piel de cocodrilo



ñ

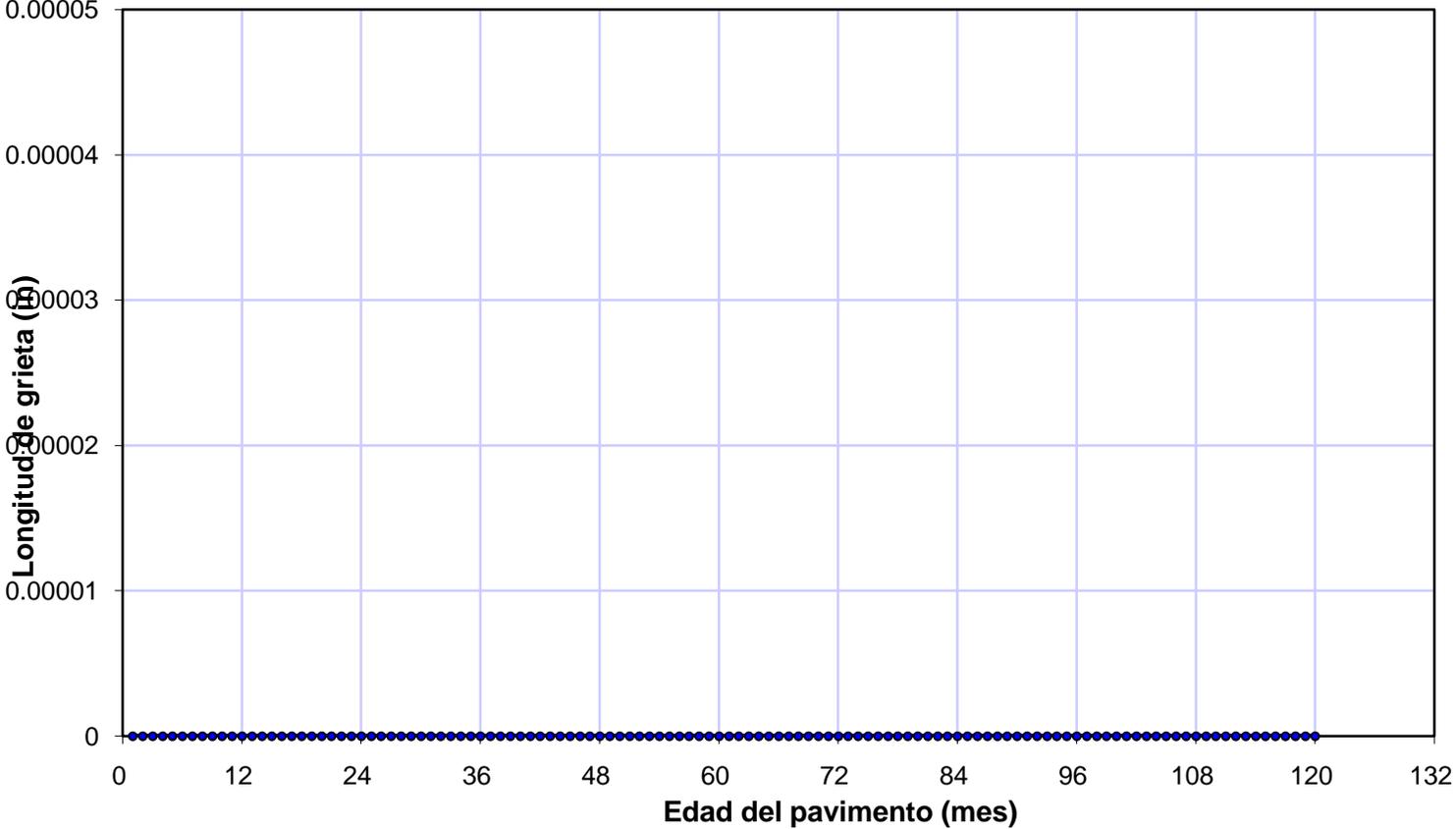
**Agreitamiento térmico: Proyecto SAN ANDRES - BELLA VISTA.dgp**

Edad pavimento		Mes	Prof. Agriet $C_{ave}$ (in)	Proporcion de profundidad $C/h_{ac}$	Longitud de grieta (ft/mi)	Espaciamiento de grieta promedio (ft)	Long de grieta a la confiabilidad (ft/mi)
mes	año						
1	0.08	Agosto	0	0	0		55.7
2	0.17	Septiembre	0	0	0		55.7
3	0.25	Octubre	0	0	0		55.7
4	0.33	Noviembre	0	0	0		55.7
5	0.42	Diciembre	0	0	0		55.7
6	0.5	Enero	0	0	0		55.7
7	0.58	Febrero	0	0	0		55.7
8	0.67	Marzo	0	0	0		55.7
9	0.75	Abril	0	0	0		55.7
10	0.83	Mayo	0	0	0		55.7
11	0.92	Junio	0	0	0		55.7
12	1	Julio	0	0	0		55.7
13	1.08	Agosto	0	0	0		55.7
14	1.17	Septiembre	0	0	0		55.7
15	1.25	Octubre	0	0	0		55.7
16	1.33	Noviembre	0	0	0		55.7
17	1.42	Diciembre	0	0	0		55.7
18	1.5	Enero	0	0	0		55.7
19	1.58	Febrero	0	0	0		55.7
20	1.67	Marzo	0	0	0		55.7
21	1.75	Abril	0	0	0		55.7
22	1.83	Mayo	0	0	0		55.7
23	1.92	Junio	0	0	0		55.7
24	2	Julio	0	0	0		55.7
25	2.08	Agosto	0	0	0		55.7
26	2.17	Septiembre	0	0	0		55.7
27	2.25	Octubre	0	0	0		55.7
28	2.33	Noviembre	0	0	0		55.7
29	2.42	Diciembre	0	0	0		55.7
30	2.5	Enero	0	0	0		55.7
31	2.58	Febrero	0	0	0		55.7
32	2.67	Marzo	0	0	0		55.7
33	2.75	Abril	0	0	0		55.7
34	2.83	Mayo	0	0	0		55.7
35	2.92	Junio	0	0	0		55.7
36	3	Julio	0	0	0		55.7
37	3.08	Agosto	0	0	0		55.7
38	3.17	Septiembre	0	0	0		55.7
39	3.25	Octubre	0	0	0		55.7
40	3.33	Noviembre	0	0	0		55.7
41	3.42	Diciembre	0	0	0		55.7
42	3.5	Enero	0	0	0		55.7
43	3.58	Febrero	0	0	0		55.7
44	3.67	Marzo	0	0	0		55.7
45	3.75	Abril	0	0	0		55.7

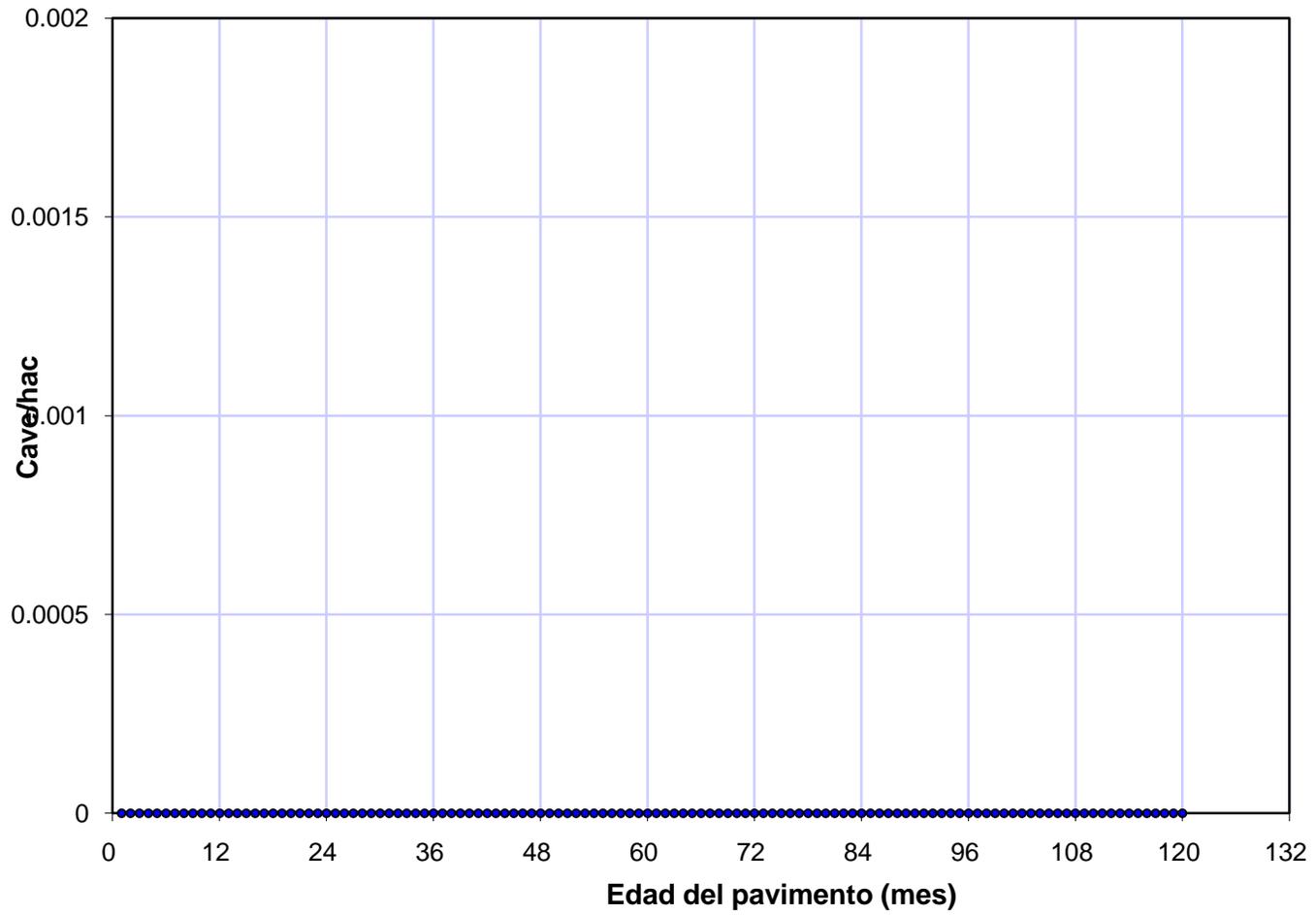
46	3.83	Mayo	0	0	0		55.7
47	3.92	Junio	0	0	0		55.7
48	4	Julio	0	0	0		55.7
49	4.08	Agosto	0	0	0		55.7
50	4.17	Septiembre	0	0	0		55.7
51	4.25	Octubre	0	0	0		55.7
52	4.33	Noviembre	0	0	0		55.7
53	4.42	Diciembre	0	0	0		55.7
54	4.5	Enero	0	0	0		55.7
55	4.58	Febrero	0	0	0		55.7
56	4.67	Marzo	0	0	0		55.7
57	4.75	Abril	0	0	0		55.7
58	4.83	Mayo	0	0	0		55.7
59	4.92	Junio	0	0	0		55.7
60	5	Julio	0	0	0		55.7
61	5.08	Agosto	0	0	0		55.7
62	5.17	Septiembre	0	0	0		55.7
63	5.25	Octubre	0	0	0		55.7
64	5.33	Noviembre	0	0	0		55.7
65	5.42	Diciembre	0	0	0		55.7
66	5.5	Enero	0	0	0		55.7
67	5.58	Febrero	0	0	0		55.7
68	5.67	Marzo	0	0	0		55.7
69	5.75	Abril	0	0	0		55.7
70	5.83	Mayo	0	0	0		55.7
71	5.92	Junio	0	0	0		55.7
72	6	Julio	0	0	0		55.7
73	6.08	Agosto	0	0	0		55.7
74	6.17	Septiembre	0	0	0		55.7
75	6.25	Octubre	0	0	0		55.7
76	6.33	Noviembre	0	0	0		55.7
77	6.42	Diciembre	0	0	0		55.7
78	6.5	Enero	0	0	0		55.7
79	6.58	Febrero	0	0	0		55.7
80	6.67	Marzo	0	0	0		55.7
81	6.75	Abril	0	0	0		55.7
82	6.83	Mayo	0	0	0		55.7
83	6.92	Junio	0	0	0		55.7
84	7	Julio	0	0	0		55.7
85	7.08	Agosto	0	0	0		55.7
86	7.17	Septiembre	0	0	0		55.7
87	7.25	Octubre	0	0	0		55.7
88	7.33	Noviembre	0	0	0		55.7
89	7.42	Diciembre	0	0	0		55.7
90	7.5	Enero	0	0	0		55.7
91	7.58	Febrero	0	0	0		55.7
92	7.67	Marzo	0	0	0		55.7
93	7.75	Abril	0	0	0		55.7
94	7.83	Mayo	0	0	0		55.7
95	7.92	Junio	0	0	0		55.7
96	8	Julio	0	0	0		55.7

97	8.08	Agosto	0	0	0		55.7
98	8.17	Septiembre	0	0	0		55.7
99	8.25	Octubre	0	0	0		55.7
100	8.33	Noviembre	0	0	0		55.7
101	8.42	Diciembre	0	0	0		55.7
102	8.5	Enero	0	0	0		55.7
103	8.58	Febrero	0	0	0		55.7
104	8.67	Marzo	0	0	0		55.7
105	8.75	Abril	0	0	0		55.7
106	8.83	Mayo	0	0	0		55.7
107	8.92	Junio	0	0	0		55.7
108	9	Julio	0	0	0		55.7
109	9.08	Agosto	0	0	0		55.7
110	9.17	Septiembre	0	0	0		55.7
111	9.25	Octubre	0	0	0		55.7
112	9.33	Noviembre	0	0	0		55.7
113	9.42	Diciembre	0	0	0		55.7
114	9.5	Enero	0	0	0		55.7
115	9.58	Febrero	0	0	0		55.7
116	9.67	Marzo	0	0	0		55.7
117	9.75	Abril	0	0	0		55.7
118	9.83	Mayo	0	0	0		55.7
119	9.92	Junio	0	0	0		55.7
120	10	Julio	0	0	0		55.7

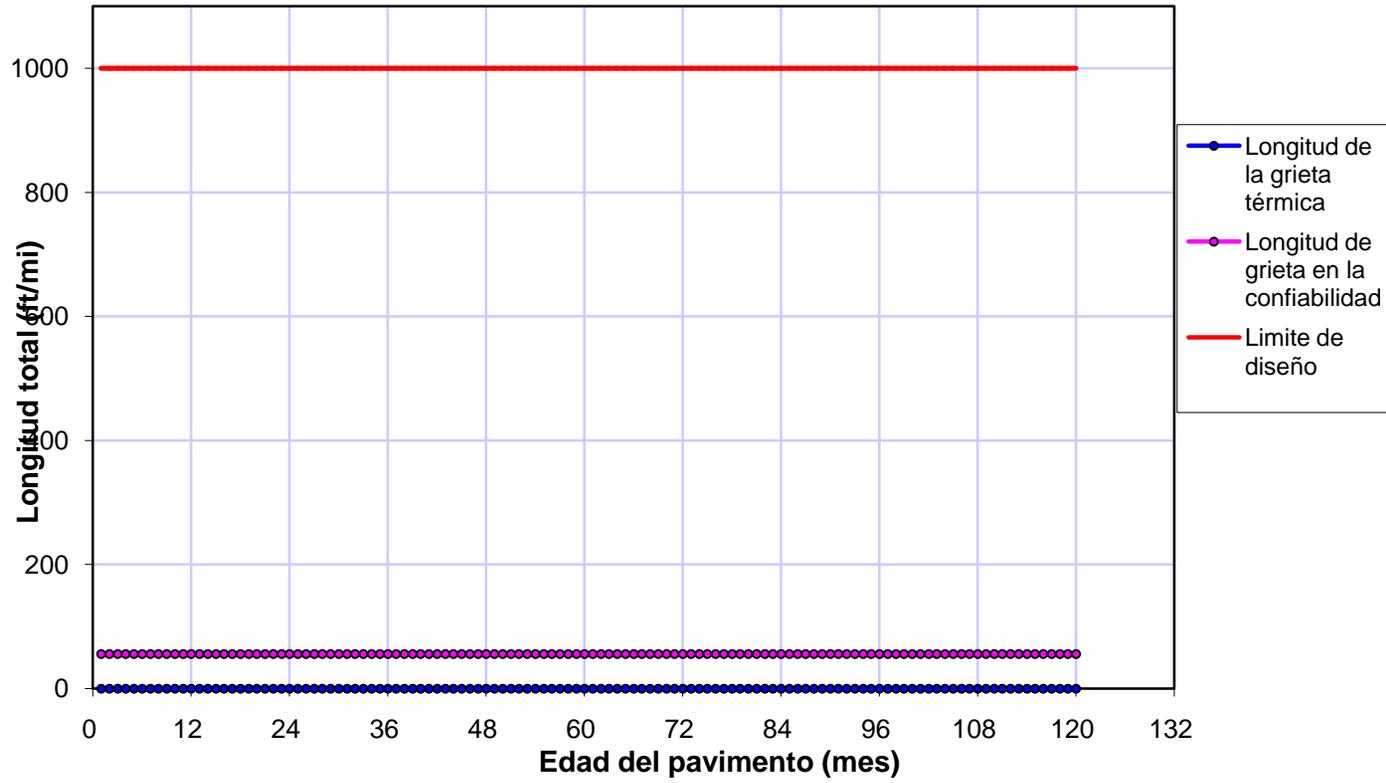
### Agrietamiento termico: Longitud de grieta Vs Tiempo



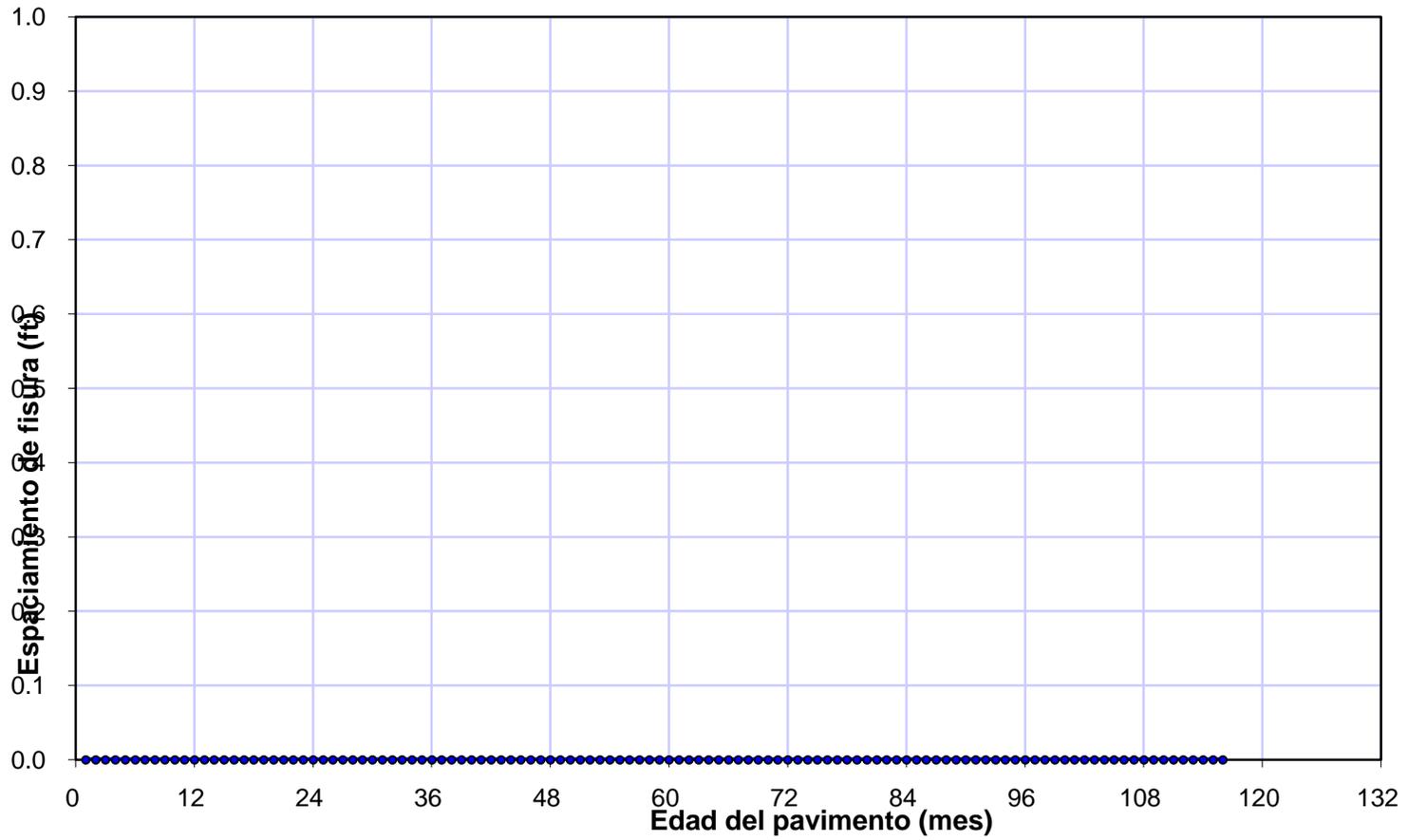
### Agrietamiento termico: Proporción de profundidad Vs Tiempo



### Agrietamiento termico: Longitud total Vs Tiempo



### Separación de las fisuras transversales



**Ahuellamiento Predecido: Project SAN ANDRES - BELLA VISTA.dgp**

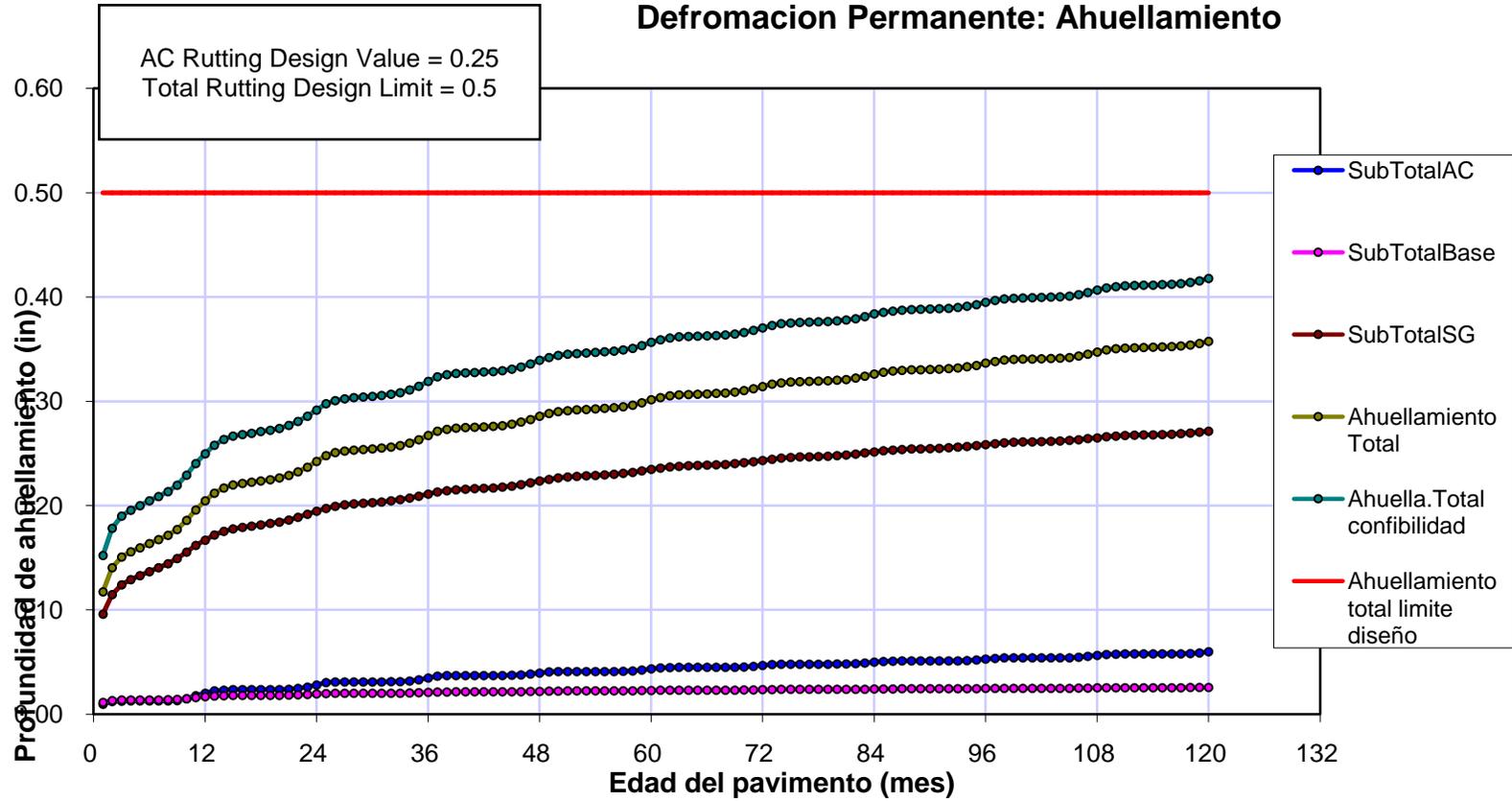
Edad pavimento		Mes	Ahuellamiento maximo (pulgadas)													
mes	año		AC1	Ubi (in)	GB2	Ubi (in)	SG3	Ubi (in)	SG4	Ubi (in)	SubTotal AC	SubTotal Base	SubTotal SG	Total	Ubi (in)	Ahuella.Total confiab.
1	0.08	Agosto	0.0097	0	0.0115	0	0.0043	0	0.0915	0	0.0097	0.0115	0.0957	0.1169	0	0.1516
2	0.17	Septiembre	0.0123	0	0.0133	0	0.005	0	0.1094	0	0.0123	0.0133	0.1144	0.1399	0	0.1776
3	0.25	Octubre	0.0127	0	0.0137	0	0.0052	0	0.1186	0	0.0127	0.0137	0.1238	0.1503	0	0.1894
4	0.33	Noviembre	0.0128	0	0.0138	0	0.0052	0	0.1234	0	0.0128	0.0138	0.1286	0.1552	0	0.1949
5	0.42	Diciembre	0.0128	0	0.0138	0	0.0053	0	0.1271	0	0.0128	0.0138	0.1324	0.159	0	0.1993
6	0.5	Enero	0.0128	0	0.0138	0	0.0053	0	0.1311	0	0.0128	0.0138	0.1364	0.163	0	0.2038
7	0.58	Febrero	0.0129	0	0.0139	0	0.0053	0	0.1347	0	0.0129	0.0139	0.14	0.1668	0	0.2081
8	0.67	Marzo	0.013	0	0.014	0	0.0054	0	0.1386	0	0.013	0.014	0.144	0.171	0	0.2128
9	0.75	Abril	0.0133	0	0.0143	0	0.0055	0	0.1433	0	0.0133	0.0143	0.1488	0.1764	0	0.2189
10	0.83	Mayo	0.015	0	0.0152	0	0.0059	0	0.1492	0	0.015	0.0152	0.1551	0.1852	0	0.2285
11	0.92	Junio	0.0177	0	0.0162	0	0.0062	0	0.1551	0	0.0177	0.0162	0.1613	0.1952	0	0.2394
12	1	Julio	0.0203	0	0.017	0	0.0065	0	0.16	0	0.0203	0.017	0.1665	0.2038	0	0.2489
13	1.08	Agosto	0.0224	0	0.0177	0	0.0068	0	0.1644	0	0.0224	0.0177	0.1712	0.2113	0	0.2572
14	1.17	Septiembre	0.0233	0	0.0181	0	0.0069	0	0.1679	0	0.0233	0.0181	0.1748	0.2161	0	0.2625
15	1.25	Octubre	0.0235	0	0.0182	0	0.007	0	0.1702	0	0.0235	0.0182	0.1772	0.219	0	0.2657
16	1.33	Noviembre	0.0236	0	0.0182	0	0.007	0	0.1716	0	0.0236	0.0182	0.1786	0.2204	0	0.2673
17	1.42	Diciembre	0.0236	0	0.0182	0	0.007	0	0.1727	0	0.0236	0.0182	0.1797	0.2216	0	0.2686
18	1.5	Enero	0.0236	0	0.0182	0	0.007	0	0.1739	0	0.0236	0.0182	0.1809	0.2228	0	0.27
19	1.58	Febrero	0.0236	0	0.0183	0	0.007	0	0.1752	0	0.0236	0.0183	0.1822	0.2242	0	0.2715
20	1.67	Marzo	0.0237	0	0.0183	0	0.0071	0	0.1766	0	0.0237	0.0183	0.1837	0.2257	0	0.2732
21	1.75	Abril	0.024	0	0.0184	0	0.0071	0	0.1787	0	0.024	0.0184	0.1858	0.2282	0	0.276
22	1.83	Mayo	0.0247	0	0.0187	0	0.0072	0	0.1811	0	0.0247	0.0187	0.1883	0.2317	0	0.2798
23	1.92	Junio	0.026	0	0.0191	0	0.0074	0	0.1837	0	0.026	0.0191	0.1911	0.2362	0	0.2848
24	2	Julio	0.0279	0	0.0195	0	0.0075	0	0.1865	0	0.0279	0.0195	0.194	0.2415	0	0.2906
25	2.08	Agosto	0.0303	0	0.02	0	0.0077	0	0.1892	0	0.0303	0.02	0.1969	0.2472	0	0.2968
26	2.17	Septiembre	0.0308	0	0.0202	0	0.0078	0	0.1911	0	0.0308	0.0202	0.1989	0.2499	0	0.2998
27	2.25	Octubre	0.031	0	0.0203	0	0.0078	0	0.1924	0	0.031	0.0203	0.2002	0.2514	0	0.3015
28	2.33	Noviembre	0.031	0	0.0203	0	0.0078	0	0.1932	0	0.031	0.0203	0.201	0.2522	0	0.3024
29	2.42	Diciembre	0.031	0	0.0203	0	0.0078	0	0.1937	0	0.031	0.0203	0.2015	0.2528	0	0.303
30	2.5	Enero	0.031	0	0.0203	0	0.0078	0	0.1944	0	0.031	0.0203	0.2022	0.2535	0	0.3038
31	2.58	Febrero	0.031	0	0.0203	0	0.0079	0	0.1951	0	0.031	0.0203	0.203	0.2543	0	0.3047
32	2.67	Marzo	0.0311	0	0.0203	0	0.0079	0	0.1961	0	0.0311	0.0203	0.204	0.2554	0	0.3059
33	2.75	Abril	0.0312	0	0.0203	0	0.0079	0	0.1972	0	0.0312	0.0203	0.2051	0.2566	0	0.3072
34	2.83	Mayo	0.0317	0	0.0205	0	0.008	0	0.1987	0	0.0317	0.0205	0.2067	0.2589	0	0.3098
35	2.92	Junio	0.0328	0	0.0208	0	0.0081	0	0.2005	0	0.0328	0.0208	0.2086	0.2621	0	0.3133

36	3	Julio	0.0347	0	0.0211	0	0.0082	0	0.2023	0	0.0347	0.0211	0.2105	0.2663	0	0.3179
37	3.08	Agosto	0.0364	0	0.0214	0	0.0083	0	0.2041	0	0.0364	0.0214	0.2124	0.2703	0	0.3222
38	3.17	Septiembre	0.0369	0	0.0216	0	0.0084	0	0.2054	0	0.0369	0.0216	0.2138	0.2722	0	0.3243
39	3.25	Octubre	0.037	0	0.0216	0	0.0084	0	0.2063	0	0.037	0.0216	0.2147	0.2734	0	0.3256
40	3.33	Noviembre	0.0371	0	0.0216	0	0.0084	0	0.2068	0	0.0371	0.0216	0.2152	0.2739	0	0.3262
41	3.42	Diciembre	0.0371	0	0.0216	0	0.0084	0	0.2071	0	0.0371	0.0216	0.2155	0.2742	0	0.3265
42	3.5	Enero	0.0371	0	0.0216	0	0.0084	0	0.2075	0	0.0371	0.0216	0.2159	0.2746	0	0.327
43	3.58	Febrero	0.0371	0	0.0216	0	0.0084	0	0.208	0	0.0371	0.0216	0.2164	0.2751	0	0.3275
44	3.67	Marzo	0.0371	0	0.0216	0	0.0084	0	0.2087	0	0.0371	0.0216	0.2171	0.2758	0	0.3283
45	3.75	Abril	0.0372	0	0.0216	0	0.0085	0	0.2097	0	0.0372	0.0216	0.2182	0.2771	0	0.3297
46	3.83	Mayo	0.0377	0	0.0218	0	0.0085	0	0.2111	0	0.0377	0.0218	0.2196	0.2791	0	0.3319
47	3.92	Junio	0.0384	0	0.022	0	0.0086	0	0.2126	0	0.0384	0.022	0.2212	0.2816	0	0.3347
48	4	Julio	0.0395	0	0.0222	0	0.0087	0	0.2142	0	0.0395	0.0222	0.2229	0.2846	0	0.338
49	4.08	Agosto	0.0404	0	0.0224	0	0.0088	0	0.2158	0	0.0404	0.0224	0.2246	0.2873	0	0.3409
50	4.17	Septiembre	0.0408	0	0.0225	0	0.0088	0	0.2171	0	0.0408	0.0225	0.2259	0.2891	0	0.3429
51	4.25	Octubre	0.0408	0	0.0225	0	0.0088	0	0.2179	0	0.0408	0.0225	0.2267	0.2901	0	0.344
52	4.33	Noviembre	0.0408	0	0.0225	0	0.0088	0	0.2186	0	0.0408	0.0225	0.2274	0.2907	0	0.3447
53	4.42	Diciembre	0.0409	0	0.0225	0	0.0088	0	0.2191	0	0.0409	0.0225	0.2279	0.2912	0	0.3452
54	4.5	Enero	0.0409	0	0.0225	0	0.0088	0	0.2196	0	0.0409	0.0225	0.2284	0.2917	0	0.3458
55	4.58	Febrero	0.0409	0	0.0225	0	0.0088	0	0.22	0	0.0409	0.0225	0.2288	0.2922	0	0.3463
56	4.67	Marzo	0.0409	0	0.0225	0	0.0088	0	0.2205	0	0.0409	0.0225	0.2293	0.2928	0	0.347
57	4.75	Abril	0.041	0	0.0225	0	0.0089	0	0.2213	0	0.041	0.0225	0.2302	0.2937	0	0.348
58	4.83	Mayo	0.0414	0	0.0226	0	0.0089	0	0.2224	0	0.0414	0.0226	0.2313	0.2952	0	0.3496
59	4.92	Junio	0.0422	0	0.0228	0	0.009	0	0.2236	0	0.0422	0.0228	0.2326	0.2976	0	0.3522
60	5	Julio	0.0434	0	0.023	0	0.009	0	0.225	0	0.0434	0.023	0.234	0.3004	0	0.3553
61	5.08	Agosto	0.0441	0	0.0232	0	0.0091	0	0.2262	0	0.0441	0.0232	0.2353	0.3026	0	0.3577
62	5.17	Septiembre	0.0446	0	0.0233	0	0.0092	0	0.2272	0	0.0446	0.0233	0.2364	0.3042	0	0.3595
63	5.25	Octubre	0.0447	0	0.0233	0	0.0092	0	0.228	0	0.0447	0.0233	0.2372	0.3051	0	0.3604
64	5.33	Noviembre	0.0447	0	0.0233	0	0.0092	0	0.2283	0	0.0447	0.0233	0.2375	0.3055	0	0.3609
65	5.42	Diciembre	0.0447	0	0.0233	0	0.0092	0	0.2286	0	0.0447	0.0233	0.2378	0.3058	0	0.3612
66	5.5	Enero	0.0447	0	0.0233	0	0.0092	0	0.2289	0	0.0447	0.0233	0.2381	0.3061	0	0.3615
67	5.58	Febrero	0.0447	0	0.0233	0	0.0092	0	0.2293	0	0.0447	0.0233	0.2385	0.3065	0	0.362
68	5.67	Marzo	0.0447	0	0.0233	0	0.0092	0	0.2297	0	0.0447	0.0233	0.2389	0.3069	0	0.3624
69	5.75	Abril	0.0449	0	0.0233	0	0.0092	0	0.2304	0	0.0449	0.0233	0.2396	0.3078	0	0.3634
70	5.83	Mayo	0.0452	0	0.0234	0	0.0092	0	0.2313	0	0.0452	0.0234	0.2405	0.3091	0	0.3648
71	5.92	Junio	0.0458	0	0.0235	0	0.0093	0	0.2323	0	0.0458	0.0235	0.2416	0.3109	0	0.3668
72	6	Julio	0.0467	0	0.0237	0	0.0093	0	0.2333	0	0.0467	0.0237	0.2426	0.313	0	0.3691
73	6.08	Agosto	0.0474	0	0.0238	0	0.0094	0	0.2346	0	0.0474	0.0238	0.244	0.3152	0	0.3715
74	6.17	Septiembre	0.0477	0	0.0239	0	0.0094	0	0.2355	0	0.0477	0.0239	0.2449	0.3166	0	0.373

75	6.25	Octubre	0.0478	0	0.0239	0	0.0095	0	0.2361	0	0.0478	0.0239	0.2456	0.3173	0	0.3738
76	6.33	Noviembre	0.0478	0	0.0239	0	0.0095	0	0.2365	0	0.0478	0.0239	0.246	0.3177	0	0.3742
77	6.42	Diciembre	0.0478	0	0.0239	0	0.0095	0	0.2367	0	0.0478	0.0239	0.2462	0.318	0	0.3746
78	6.5	Enero	0.0478	0	0.0239	0	0.0095	0	0.237	0	0.0478	0.0239	0.2465	0.3183	0	0.3749
79	6.58	Febrero	0.0478	0	0.0239	0	0.0095	0	0.2373	0	0.0478	0.0239	0.2468	0.3186	0	0.3752
80	6.67	Marzo	0.0479	0	0.0239	0	0.0095	0	0.2378	0	0.0479	0.0239	0.2473	0.3191	0	0.3758
81	6.75	Abril	0.048	0	0.0239	0	0.0095	0	0.2384	0	0.048	0.0239	0.2479	0.3198	0	0.3765
82	6.83	Mayo	0.0483	0	0.024	0	0.0095	0	0.2392	0	0.0483	0.024	0.2487	0.3211	0	0.378
83	6.92	Junio	0.049	0	0.0242	0	0.0096	0	0.2402	0	0.049	0.0242	0.2498	0.3229	0	0.3799
84	7	Julio	0.0499	0	0.0243	0	0.0096	0	0.2413	0	0.0499	0.0243	0.2509	0.3251	0	0.3823
85	7.08	Agosto	0.0504	0	0.0244	0	0.0097	0	0.2422	0	0.0504	0.0244	0.2519	0.3267	0	0.3841
86	7.17	Septiembre	0.0507	0	0.0245	0	0.0097	0	0.2429	0	0.0507	0.0245	0.2526	0.3278	0	0.3853
87	7.25	Octubre	0.0508	0	0.0245	0	0.0097	0	0.2435	0	0.0508	0.0245	0.2532	0.3286	0	0.3862
88	7.33	Noviembre	0.0509	0	0.0245	0	0.0097	0	0.2439	0	0.0509	0.0245	0.2536	0.3289	0	0.3865
89	7.42	Diciembre	0.0509	0	0.0245	0	0.0097	0	0.2441	0	0.0509	0.0245	0.2538	0.3292	0	0.3868
90	7.5	Enero	0.0509	0	0.0245	0	0.0097	0	0.2444	0	0.0509	0.0245	0.2541	0.3295	0	0.3872
91	7.58	Febrero	0.0509	0	0.0245	0	0.0097	0	0.2447	0	0.0509	0.0245	0.2544	0.3298	0	0.3875
92	7.67	Marzo	0.0509	0	0.0245	0	0.0097	0	0.245	0	0.0509	0.0245	0.2547	0.3302	0	0.3879
93	7.75	Abril	0.051	0	0.0245	0	0.0097	0	0.2456	0	0.051	0.0245	0.2553	0.3308	0	0.3886
94	7.83	Mayo	0.0513	0	0.0246	0	0.0098	0	0.2463	0	0.0513	0.0246	0.2561	0.3319	0	0.3898
95	7.92	Junio	0.0517	0	0.0247	0	0.0098	0	0.2471	0	0.0517	0.0247	0.2569	0.3333	0	0.3913
96	8	Julio	0.0527	0	0.0248	0	0.0099	0	0.248	0	0.0527	0.0248	0.2579	0.3354	0	0.3936
97	8.08	Agosto	0.0533	0	0.0249	0	0.0099	0	0.2489	0	0.0533	0.0249	0.2588	0.337	0	0.3954
98	8.17	Septiembre	0.0537	0	0.025	0	0.0099	0	0.2496	0	0.0537	0.025	0.2595	0.3383	0	0.3968
99	8.25	Octubre	0.0538	0	0.025	0	0.0099	0	0.2501	0	0.0538	0.025	0.26	0.3389	0	0.3974
100	8.33	Noviembre	0.0538	0	0.025	0	0.0099	0	0.2504	0	0.0538	0.025	0.2603	0.3392	0	0.3978
101	8.42	Diciembre	0.0538	0	0.025	0	0.0099	0	0.2506	0	0.0538	0.025	0.2605	0.3394	0	0.398
102	8.5	Enero	0.0538	0	0.025	0	0.0099	0	0.2508	0	0.0538	0.025	0.2607	0.3396	0	0.3982
103	8.58	Febrero	0.0538	0	0.025	0	0.0099	0	0.2511	0	0.0538	0.025	0.261	0.3399	0	0.3985
104	8.67	Marzo	0.0539	0	0.025	0	0.01	0	0.2514	0	0.0539	0.025	0.2614	0.3402	0	0.3989
105	8.75	Abril	0.0539	0	0.025	0	0.01	0	0.2519	0	0.0539	0.025	0.2619	0.3408	0	0.3995
106	8.83	Mayo	0.0544	0	0.0251	0	0.01	0	0.2526	0	0.0544	0.0251	0.2626	0.342	0	0.4008
107	8.92	Junio	0.0552	0	0.0252	0	0.01	0	0.2534	0	0.0552	0.0252	0.2634	0.344	0	0.403
108	9	Julio	0.0562	0	0.0254	0	0.0101	0	0.2543	0	0.0562	0.0254	0.2644	0.346	0	0.4052
109	9.08	Agosto	0.057	0	0.0255	0	0.0101	0	0.2552	0	0.057	0.0255	0.2653	0.3479	0	0.4073
110	9.17	Septiembre	0.0575	0	0.0256	0	0.0102	0	0.2559	0	0.0575	0.0256	0.2661	0.3491	0	0.4086
111	9.25	Octubre	0.0576	0	0.0256	0	0.0102	0	0.2564	0	0.0576	0.0256	0.2666	0.3498	0	0.4094
112	9.33	Noviembre	0.0576	0	0.0256	0	0.0102	0	0.2566	0	0.0576	0.0256	0.2668	0.35	0	0.4096
113	9.42	Diciembre	0.0576	0	0.0256	0	0.0102	0	0.2569	0	0.0576	0.0256	0.2671	0.3503	0	0.4099

114	9.5	Enero	0.0576	0	0.0256	0	0.0102	0	0.2571	0	0.0576	0.0256	0.2673	0.3505	0	0.4101
115	9.58	Febrero	0.0576	0	0.0256	0	0.0102	0	0.2574	0	0.0576	0.0256	0.2676	0.3508	0	0.4104
116	9.67	Marzo	0.0576	0	0.0256	0	0.0102	0	0.2576	0	0.0576	0.0256	0.2678	0.3511	0	0.4108
117	9.75	Abril	0.0578	0	0.0256	0	0.0102	0	0.2581	0	0.0578	0.0256	0.2683	0.3517	0	0.4114
118	9.83	Mayo	0.0581	0	0.0257	0	0.0102	0	0.2587	0	0.0581	0.0257	0.2689	0.3527	0	0.4125
119	9.92	Junio	0.0587	0	0.0258	0	0.0103	0	0.2594	0	0.0587	0.0258	0.2697	0.3542	0	0.4142
120	10	Julio	0.0596	0	0.0259	0	0.0103	0	0.2602	0	0.0596	0.0259	0.2705	0.3561	0	0.4162

### Defromacion Permanente: Ahuellamiento



#### 4.7.- Análisis de la aplicación del método

Lo siguiente proporciona algunas reglas generales de simulación o una guía para crear la estructura de pavimento flexible a ser analizada usando el software de diseño de la guía. Cabe resaltar que las reglas mencionadas son sólo sugerencias y el diseñador debe escoger utilizando su experiencia local en el diseño de pavimentos. El diseñador debe simular la estructura de pavimento lo más detallada posible, y después empezar a combinar las capas como más se necesiten. El método es de aplicación muy practica y sencilla, esto siempre y cuando se cuente con una base de datos completa, como por ejemplo la de Estados Unidos, donde se obtuvo datos para cada estado o región, estos datos incluyen el clima, trafico, suelos, etc. En cambio, al aplicar el método en nuestro medio es muy complicado porque se cuenta con una base datos muy limitada o inexistente lo cual dificulta el procedimiento, por lo que en algunas situaciones se tuvo que utilizar diferentes niveles o categorías de datos para cada caso, como ya se explico anteriormente.

##### 4.7.1.- Sobre parámetros.-

<b>PARAMETRO</b>	<b>RANGO RECOMENDABLE</b>	<b>RANGO DEL PROGRAMA</b>
IRI inicial (in/mi)	50 – 100 in / milla	0 – 200 in / milla
IRI Terminal (in/mi)	172 in / milla	IRI inicial – 1260 in/mi
Agriet. Longitudinal(ft/mi):	1000 pies / milla	500 – 2000 pies / milla
Piel de cocodrilo (%):	25 – 50 %	0 – 100 %
Agriet. Transversal (ft/mi):	1000 pies / milla	0 – 10000 pies / milla
Capas químicamente estabilizadas	25 %	0 – 100 %
Deformación permanente (AC solamente) (in):	0.3 – 0.5 in	0 – 3 in
Deformación permanente (Total Pavimento) (in):	0.25	0 – 3 in

Como se puede observar, el rango de parámetros de diseño es muy amplio; por tal motivo, para utilizar correctamente este método AASHTO 2008 se debe contar con una experiencia suficiente para así tener resultados satisfactorios.

El clima es un dato que dificulta la utilización de este método en nuestro medio debido a que el SENAMHI no cuenta con registros horarios de temperatura [°F] y velocidad del viento [mph], el porcentaje de nubosidad, la precipitación [in] y el porcentaje de humedad relativa, además que la velocidad del viento es un dato que recién se ha empezando a medir y de manera diaria, no horaria.

El software M-EPDG cuenta con una gran base de datos de estaciones climáticas de Estados Unidos, pero no se puede agregar estaciones locales lo único que permite es editar (con ayuda del wordpad) alguna estación de Estados Unidos que tenga similar clima que el sitio de diseño y de esta manera modificar los registros de la estación; una comparación de climas es mostrada en los anexos.

El tráfico es un dato estricto puesto que al igual que el clima necesita de registros horarios del volumen de tráfico, pero este registro es específico debido a que divide el tráfico en clases; de la clase 1 a la clase 14, de estos registros los que utiliza el programa son de la clase 4 a la 14, es decir desde buses hasta camiones con uno o más remolques.

El registro se realiza por cada clase de vehículo durante las 24 horas del día, el TPDA es simplemente el número total de vehículos (clase 4 – 14) registrado en un periodo dividido en el número de días de ese periodo. Este periodo es mínimo de 1 día y máximo de 1 año.

#### **4.7.2.- Sobre procedimiento.-**

El procedimiento no es complicado, el software M-EPDG ofrece un interfaz amigable, donde el ingreso de datos es muy intuitivo, debido a que clasifica los datos por colores, cuando no existen datos muestra color rojo, datos incompletos color amarillo y verde datos completos.

El procedimiento de diseño del método mecanístico – empírico de la AASHTO 2008 es un método de tanteos que consiste en predecir una determinada confiabilidad (que depende del

tipo de carretera a diseñar), el comportamiento del pavimento ante los principales tipos de falla dando un margen de error o un límite permisible a la posible falla del pavimento; si los resultados son satisfactorios, es decir, las fallas no superan el margen permisible, entonces el proceso iterativo concluye, caso contrario, se repite el tanteo.

Se debe tener cuidado con el margen permisible de falla y la confiabilidad, debido a que si se tiene una confiabilidad alta y nuestros riesgos permisibles son muy altos se tendrá un diseño muy conservador; por tal motivo, se debe buscar un equilibrio para no obtener un diseño sobredimensionado.

#### **4.7.3.- Sobre dimensionamiento**

La estructura del pavimento original definida por el usuario, por lo general tiene de 4 a 6 capas. Sin embargo, la Guía de diseño de software podrá subdividir la estructura del pavimento en 12 a 15 subcapas para el modelado de la temperatura y las variaciones de la humedad. La Guía de diseño de software realiza las subcapas internamente en función del tipo de material, espesor de la capa y la ubicación de la capa dentro de la estructura del pavimento. La Guía de diseño de software puede analizar un máximo de 19 capas. Sin embargo, un máximo de 10 capas de entrada actual se recomienda, en caso que el espesor de una capa sea menor a una pulgada; esta capa se debe unir a otra capa para que pueda ser analizada.

El dimensionamiento de las capas de pavimento de la AASHTO 2008 es mecanístico y empírico, debido a que para su diseño se realiza un trabajo mecánico de tanteos, pero estos tanteos no salen de la nada, sino más bien salen de la experiencia del diseñador.

#### **4.7.4.- Sobre confiabilidad de resultados**

La confiabilidad de resultados depende, como en todo programa de la calidad, de datos introducidos.

Como el método mecanístico – empírico de la AASHTO 2008 es un método nuevo que recién este año se empezará a utilizar en Estados Unidos, la confiabilidad de los resultados en nuestro medio es limitada, esto, debido a la falta o escasez de datos necesarios para realizar un diseño confiable con este método; por ejemplo, el SENAMHI no cuenta con

registros horarios de lluvia, temperatura, nubosidad, humedad relativa, velocidad. Las dimensiones y el peso de vehículos por eje que se requieren del lugar del estudio; todos estos inconvenientes ocasionan que la confiabilidad de los resultados obtenida no sea satisfactoria. La guía recomienda un diseño alternativo con otro método para que el resultado sea más confiable; esto fue demostrado con el segundo tanteo donde se muestra que bajo las mismas condiciones de diseño, a excepción del TPDA que fue cambiado de 116 (medición de campo) por el de 139 (supervisión) los espesores no cumplen con los requisitos establecidos para esta nueva carga de tráfico, dando lugar a nuevos espesores.

Espesores: carpeta 5 pulgada, base granular 3 pulgadas y sub base granular 3 pulgadas.

TPDA = 116

<b>Criterio de rendimiento</b>	<b>Falla escogida</b>	<b>Conf. escogida</b>	<b>Falla predecida</b>	<b>Conf. predecida</b>	<b>Verifi.</b>
IRI Terminal (in/mi)	200	80	124.1	98.63	Cumple
Fisuramiento de la superficie al fondo-Fisuramiento Long (ft/mi)	500	80	2.7	83.63	Cumple
Fisuramiento del fondo a la superficie - piel de cocodrilo (%):	25	80	0.1	99.999	Cumple
Fracturas Térmicas (ft/mi)	1000	80	1	99.999	Cumple
Capa químicamente estabilizada	25	80			N/A
Deformación permanente (sólo carpeta) (in):	0.25	80	0.06	99.999	Cumple
Deformación permanente (Todo el pavimento) (in):	0.5	80	0.36	97.8	Cumple

También se realizó el diseño del mismo pavimento por el método AASHTO 93 con el fin de comparar resultados; los espesores fueron los siguientes: carpeta 5 pulgadas, base granular 2 pulgadas y sub base granular 2 pulgadas. El procedimiento de este método AASHTO 1993 está mostrado en los anexos.

**RESUMEN ESPESORES DE  
PAVIMENTO AASHTO 1993**

<b>TRAMO</b>	<b>CARPETA</b>	<b>BASE GRANULAR</b>	<b>SUB-BASE GRANULAR</b>
San Andrés Bella Vista	5 pulgadas	2 pulgadas	2 pulgadas

**Fuente: Elaboración propia**

**RESUMEN ESPESORES DE  
PAVIMENTO AASHTO 2008 M-EPDG  
(alternativa elegida)**

<b>TRAMO</b>	<b>CARPETA</b>	<b>BASE GRANULAR</b>	<b>SUB-BASE GRANULAR</b>
San Andrés Bella Vista	5 pulgadas	3 pulgadas	3 pulgadas

**Fuente: Elaboración propia**

## CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1.- Conclusiones

- Los pavimentos flexibles, son pavimentos formados por distintas capas como ser: subrasante, sub-base, base y carpeta, lo que caracteriza a este tipo pavimento es que la carga recibida la distribuye entre sus capas, son más económicos pero su vida útil es más corta que en el caso de pavimentos rígidos.
- El método de diseño de la AASHTO 93 se basa en las ecuaciones originales de ASSHO que datan de 1961; estas ecuaciones son producto de las pruebas realizadas en Ottawa con tramos de escala natural. El diseño consiste sustancialmente en encontrar un “número estructural SN” que sea capaz de soportar el nivel de carga solicitado.
- Para determinar el “número estructura SN” se requiere de distintos parámetros de diseño como ser: El tránsito en ejes equivalentes acumulados para el período de diseño seleccionado “W18”, la confiabilidad “R”, la desviación estándar global “So”, el módulo de resiliencia efectivo, “Mr” del material usado para la subrasante, la pérdida o diferencia entre los índices de servicios inicial y final deseados, “.PSI”. Todos estos parámetros dependen del número de carriles en cada sentido, tipo de carretera, clasificación funcional y la calidad de servicio.
- Los elementos de diseño que utiliza el método mecanístico - empírico de la AASHTO 2008, son parámetros muy rigurosos puesto que la mayoría de los datos necesarios son horarios; estos ayudan a determinar el comportamiento del pavimento durante su vida útil. Los parámetros utilizados en el tramo San Andrés – Bella Vista son de diferentes niveles jerárquicos (1, 2, 3). En lo posible se trató de obtener datos del lugar que corresponde a un nivel 1 como en el tráfico, o si no datos por defecto que corresponden a un nivel 3
- La calidad de los datos de entrada influye directamente en los resultados, el método admite tres niveles jerárquicos (1, 2, 3), el nivel jerárquico adquirido dependerá de la importancia del proyecto.

Nivel 1: Se utiliza para un diseño avanzado de alta confiabilidad, como por ejemplo: autopistas y carreteras de mayor importancia; para esto se requiere data específica de la zona y evaluación.

Nivel 2: Consiste en un procedimiento estándar de diseño utilizado para un procedimiento de diseño de rutina; los datos requeridos para el diseño puede tomarse de una base de datos.

Nivel 3: Este nivel puede utilizarse cuando las consecuencias de las fallas prematuras no son trascendentales en carreteras de bajo volumen de tráfico.

En este caso se asumió un nivel 3

- El método consiste básicamente en predecir el comportamiento del pavimento a distintos tipos de falla durante su vida útil; esto se realiza a través de tanteos basados en la experiencia del diseñador, mientras mejor sea la calidad de datos, los resultados serán más satisfactorios. Desafortunadamente en nuestro medio los datos necesarios para realizar el diseño con este método AASHTO 2008 M-EPDG son todavía insuficientes; el programa M-EPDG muestra los resultados en hoja Excel editable.
- Algunas ventajas pueden ser: Toma en cuenta muchos factores que cambian a través del tiempo (tráfico, clima), permite la predicción de importantes mecanismos de falla así como la rugosidad a través del tiempo, caracterización del tráfico mejorada, admite el ingreso de datos con distintos niveles jerárquicos para un mismo diseño, inclusión del clima como parámetro de diseño. Al aplicar este método uno conoce las fallas que va a tener el pavimento lo cual, nos facilita para pronosticar las actividades de mantenimiento para el pavimento diseñado; los resultados del programa son mostrados en hoja excel editable.
- Algunas limitaciones pueden ser: dificultad de implementación en nuestro medio, la obtención de datos es más complicada, el registro del tráfico debe ser realizado durante 24 horas, no se toma en cuenta los vehículos livianos. Editar los archivos climáticos con datos propios resulta muy moroso debido a la

enorme cantidad de datos requeridos, el software M-EPDG sólo funciona con conexión a internet, no se puede utilizar sin conexión, por ahora la guía, el manual y el software sólo se encuentran en inglés, no se encuentran versiones en español, al ser un método nuevo, no se cuenta con mucha teoría disponible, algunos tipos de falla no están incluidos, los resultados del método dependen de la habilidad o experiencia que posee el diseñador.

- La caracterización del tráfico es distinta, ya que no existe el factor de carga; el método AASHTO 2008 analiza cada tipo de vehículo por clase, no toma en cuenta los vehículos livianos, el método AASHTO 2008 incluye como parámetro nuevo de diseño al clima, esto permite una variación de temperatura horaria, el AASHTO 1993 es un método empírico en cambio el método AASHTO 2008 es un método mecanístico – empírico. La principal diferencia entre la edición AASHTO 1993 y la AASHTO 2008, es que el método AASHTO 2008 es un nuevo método de diseño, que utiliza mayor cantidad de parámetros, lo cual nos proporciona un diseño más óptimo.
- El dimensionamiento de pavimentos flexibles con el nuevo método de la AASHTO 2008 es un método que tiene por principio ser un método mecanístico - empírico, que incrementa más parámetros de diseño, como por ejemplo, el clima; también los parámetros anteriormente utilizados en otras ediciones son más rigurosos, es decir, no se trata de una actualización del método, sino más bien se trata de un nuevo método de diseño. El procedimiento de diseño, como ya se mencionó anteriormente, es mecanístico –empírico, es decir que, para dimensionar el pavimento se requiere realizar una serie de tanteos en base a una experiencia de diseño. Lo que el método busca es determinar el comportamiento del pavimento ante los principales tipos de falla durante su vida útil. El diseñador determina los espesores de capa y los rangos permisibles de daño para cada tipo de falla, estos tanteos se realizan con ayuda del software M-EPDG y se repiten hasta que los resultados cumplan con los requisitos propuestos por el diseñador. Lastimosamente, los resultados en nuestro medio no son confiables, esto debido a que este método utiliza muchos parámetros que todavía no se

utilizan en nuestro medio, por ejemplo: el clima que requiere de registros horarios; en nuestro medio el SENAMHI sólo registra datos diarios, lo que ya es un inconveniente.

## **5.2.- Recomendaciones**

- Emplear el programa excel para el ordenamiento de datos climáticos, y exportarlos o guardarlos como archivo CSV delimitado por comas; esto facilita en gran medida la edición de datos en una estación de Estados Unidos.
- El uso de un diseño alternativo es importante para comparar resultados, con los resultados del método AASHTO 2008 (M-E-PDG), o si no para tener un punto de partida para los tanteos de diseño.
- Al comenzar el diseño es importante simular la estructura del pavimento, con la mejor calidad de datos posible, para después empezar a combinar las capas como se necesiten
- Crear una base datos con datos locales es muy importante y debe realizarse en la brevedad; esta base de datos comprende: datos climáticos horarios, dimensiones y pesaje de vehículos, distribución horaria del tráfico, etc., para que de esta manera su implementación en nuestro medio sea más fácil.
- Para utilizar el programa se necesita internet, debido a que el programa no funciona fuera de línea.