

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 JUSTIFICACIÓN.-

En la actualidad los estudios de pavimentos cualquiera sea el tipo es muy importante para nuestro país y en particular para nuestra región ya que estamos en una etapa de franco desarrollo en el área vial y cualquier profundización en el tema viene a contribuir los conocimientos de este tema.

Aunque su uso no sea frecuente en nuestro país este estudio nos permitirá conocer todos los principios del método empírico - mecanístico AASHTO 2008, sus parámetros de entrada, su proceso metodológico, su amplitud en cuanto a resultados y sobre todo la aplicabilidad en el dimensionamiento de pavimentos rígidos en las carreteras de nuestra región.

Dentro del diseño de pavimentos en la construcción de carreteras es importante tener alternativas para poder comparar tanto en lo técnico como en lo económico por lo tanto este estudio mostrará las posibilidades de constituirse en una alternativa aplicable en nuestro medio a partir de los nuevos principios en los que se basa el método empírico - mecanístico AASHTO 2008 para pavimentos rígidos, asimismo la confiabilidad del diseño que puedan tener este tipo de pavimentos.

Este estudio nos permitirá paralelamente estudiar nuevas metodologías en el diseño de pavimentos rígidos que hayan tenido un avance en el fundamento de principios de concepción de este tipo de pavimentos y que permitan la optimización de los diseños, relacionar con el periodo de vida útil y la vulnerabilidad que tienen este tipo de pavimentos en su diseño.

Este estudio también permitirá estudiar las nuevas tecnologías de ejecución en este tipo de pavimentos y analizar las posibilidades que se tienen en nuestro medio de la apropiación de estas tecnologías para ser aplicadas en proyectos de nuestro medio.

La afirmación de que un pavimento tiene un periodo de vida útil puede prestar a un buen diseño garantizado en ese periodo para el servicio, sin embargo analizaremos que grado de precisión que tienen estos diseños y cual su vulnerabilidad para ver cuán confiable es un diseño de un pavimento rígido sustentado por el comportamiento de muchos kilómetros en otros países más desarrollados, este estudio nos permitirá establecer hasta qué punto es posible su aplicabilidad en nuestro medio.

La reciente implantación del método empírico - mecánico AASHTO 2008 justifica plenamente realizar el análisis metodológico para establecer claramente la posibilidad de utilizar con grado de certeza confiable en nuestro medio para el diseño de pavimentos rígidos.

El aporte que se tiene en el presente estudio es la novedad tecnológica con este nuevo método, la aplicación del programa informático que tiene el método empírico - mecánico AASHTO 2008.

## **1.2 OBJETIVOS.-**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL.-**

Realizar el análisis metodológico del método empírico - mecánico AASHTO 2008 sobre el diseño de los pavimentos rígidos a partir de sus principios, los parámetros de diseño, el procedimiento metodológico del dimensionamiento de pavimentos rígidos, la confiabilidad de los resultados para nuestro medio y la posibilidad de aplicación en nuestro medio.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-

Entre los objetivos específicos tenemos:

- Estudiar las características generales de los pavimentos rígidos y las particularidades.
- Estudiar los tipos de diseño de pavimentos rígidos, “DARWin” y “AASHTO 93”
- Realizar un análisis sobre los principios, parámetros de entrada, proceso metodológico en que se basa el método empírico - mecanístico AASHTO 2008 para el diseño de pavimentos rígidos.
- Describir el proceso metodológico y establecer las particularidades del método empírico - mecanístico AASHTO 2008 para el diseño de pavimentos rígidos en cuanto a sus resultados y posibilidad de aplicación en nuestro medio con un grado de certeza.
- Realizar una aplicación práctica en el tramo Caraparí-Campo Pajoso aplicando el método empírico - mecanístico AASHTO 2008 para el diseño de pavimentos rígidos y establecer un análisis de los resultados para comparar con un diseño convencional.
- Establecer conclusiones finales sobre el análisis metodológico del método empírico-mecanístico AASHTO 2008 para el diseño de pavimentos rígidos.

### 1.3 ALCANCE.-

El presente trabajo está suscrito al **“ANÁLISIS METODOLÓGICO DEL MÉTODO EMPÍRICO - MECANÍSTICO AASHTO 2008 PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS”**. Tiene como alcance desarrollar una secuencia de actividades de cada uno de los capítulos que nos permitan analizar metodológicamente al método, de manera que se aplique en el dimensionamiento del pavimento del tramo Campo Pajoso - Caraparí, el mismo que se encuentra ubicado en la provincia Gran Chaco del departamento de Tarija.

El estudio del periodo de vida de los pavimentos rígidos y la vulnerabilidad del diseño referente a este ámbito temático para lo cual necesariamente se empezará a definir los objetivos que se tienen, el alcance de este estudio pretendiendo cumplir con los objetivos propuestos y de que el estudio sirva como un documento de consulta a todos los interesados en esta temática. Asimismo nos plantearemos la metodología de encarar este estudio.

Para entrar a estudiar el periodo de vida útil de los pavimentos rígidos, es importante estudiar primeramente las características de los pavimentos rígidos en general, es decir a qué tipo de esfuerzos están sometidos este tipo de pavimentos y como contribuyen cada una de las capas que la conforman, además de sus características y especificaciones para los materiales y conformación de dichas capas, incluyendo las juntas y sus diferentes tipos cuyo elemento en los pavimentos rígidos es fundamental.

Como nuestro propósito apunta al estudio de la vulnerabilidad del diseño de pavimentos rígidos, se hace necesario estudiar los diferentes factores que inciden en esta vulnerabilidad, con el propósito de estudiar los fundamentos de su diseño, la diferencia en su estructura, sus ventajas y desventajas, su aplicabilidad y su forma de aplicación, para realizar una valoración de todo este tipo de factores en el periodo de vida útil que tienen los pavimentos rígidos.

La parte esencial de nuestro estudio es aquel que está ligado al tema en sí por ello le damos particular atención al estudio pormenorizado de los pavimentos rígidos y su dimensionamiento con el método AASHTO 2008, sus fundamentos teóricos, sus propiedades, un análisis de comportamiento a partir de sus principios, su comportamiento esperado considerando las diferentes condiciones de servicio, la metodología del diseño, los parámetros que intervienen en este, como deben analizarse los resultados y su coherencia para valorarlos y la forma de ejecución que tendría este tipo de pavimentos considerando el equipo u la metodología en obra para la ejecución.

A todo el estudio para que esté completo es necesario experimentar en una aplicación práctica con datos reales y mejor si estos son de tramos de la región ya que uno de los objetivos del presente estudio es establecer el grado de aplicabilidad que tiene este tipo de pavimentos, por ello se eligió el tramo Campo Pajoso - Caraparí en la que se tiene un proyecto de pavimento rígido conociendo que el mismo es paso obligado del tráfico pesado podría ser un tramo adecuado para colocar pavimento rígido .

Se establecerán las características del tramo elegido sus condiciones de parámetros de diseño, la metodología, los factores de la vulnerabilidad del diseño y su dimensionamiento, sus costos y la valoración de su aplicabilidad pudiendo ésta representarnos un referente para otros tramos de condiciones similares.

Finalmente expondremos en el estudio nuestras conclusiones y recomendaciones a partir de todo lo estudiado y de la aplicación práctica realizada.

El desarrollo de éste trabajo consta de cinco capítulos, los cuales se describen a continuación:

Para cumplir con el objetivo planteado en primera instancia se realizará la organización de la ejecución con actividades previas como una introducción general sobre el cálculo de pavimentos rígidos por elementos finitos. El alcance propuesto tendrá las distintas secuencias en su realización, es decir desde cómo surgió la idea de realizar dicho proyecto. Comenzaremos conociendo sus antecedentes, también se realizara su respectiva justificación haciendo notar su objetivo tanto general como específicos.

En el capítulo II se hablará de las calzadas de concreto, se dará su introducción como así también sus generalidades ya que estas se utilizan como una estrategia de construcción y mantenimiento muy diferentes de las estructuras flexibles o semirrígidas.

Antes de presentar los principios generales y las reglas prácticas de dimensionamientos de las estructuras, conviene hacer un análisis del funcionamiento de las calzadas en concreto enfatizando en sus aspectos específicos por lo cual también se hará mención de los materiales indicando condiciones particulares y por último se conocerá la ejecución de una calzada conociendo su funcionamiento, modelación y dimensionamiento.

Este Capítulo nos muestra las características generales de los modelos matemáticos ya que es una representación teórica y esquemática de una estructura y de los esfuerzos que se les aplican. Modelo de Burmister, y modelo de Westergaard los cuales son modelos de geometría finita.

En el capítulo III conoceremos los datos requeridos para el dimensionamiento de estructuras de pavimentos, como ser tráfico, datos climáticos y de ambiente y los más importantes que son los parámetros de la plataforma de soporte. También conoceremos el manual del usuario que constituye un resumen de todas las metodologías utilizadas en el diseño racional de pavimentos, explicadas de manera completa y detallada.

Se observará los esfuerzos y deformaciones dentro de este se realizará su descripción, parámetros del programa, funcionamiento del programa, y lo más importante se dará a conocer el software para el cálculo de pavimentos por el método racional, el cual está

desarrollado para trabajar en un ambiente de Windows que está elaborado para diseñar pavimentos, para lo cual se deben seguir las instrucciones que vienen a continuación.

Instalación, acceso, calculo de transito y el tipo de estructura.

En la aplicación de la práctica se eligió la zona de estudio del municipio de Campo Pajoso Caraparí, conociendo las características de la zona de estudio como sus parámetros a considerar, se desarrolla un software en el que se pueden diseñar diferentes estructuras de pavimento usando la metodología empírico – mecánico AASHTO 2008 en el periodo de diseño del pavimento ya que los mismos juegan un rol importante en este proyecto para de esta forma obtener resultados y su posterior valoración.

Se podrá obtener las conclusiones y sus respectivas recomendaciones sobre la utilización del método AASHTO 2008 en nuestro medio, para condiciones propias de manera que se tenga la mayor certidumbre de los resultados.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTO DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

#### **2.1 Definición.-**

Pavimento es la capa o conjunto de capas comprendida (s) entre la subrasante y la superficie de rodamiento de una obra vial, cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito de vehículos, el intemperismo producido por los agentes naturales y a cualquier otro agente perjudicial. Estructuralmente un pavimento tiene la función de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que ésta no se deforme de manera perjudicial.

Entre las principales funciones que desempeñan los pavimentos son el aislamiento y la ornamentación, pero al mismo tiempo deben resistir las abrasiones y los punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos y la compresión de los elementos que se apoyan. Además, muchos pavimentos tienen que ser inmunes a la acción de agentes químicos, como agua, aceites, sales o ácidos, a las agresiones de seres vivos e incluso a la propia luz solar.

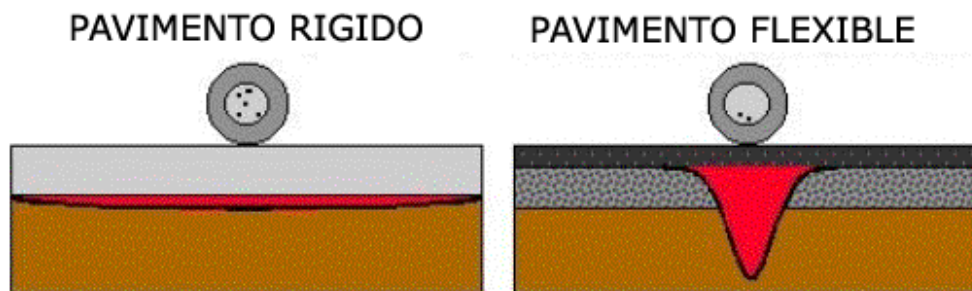
Un pavimento está formado por diversas capas de mejor calidad y mayor costo cuanto más cercanas se encuentran a la superficie de rodamiento; ello es, principalmente, por la mayor intensidad de los esfuerzos que les son transmitidos.

Para cumplir sus funciones, un pavimento debe satisfacer dos condiciones básicas: ofrecer una buena y resistente superficie de rodamiento, con la rugosidad necesaria para garantizar buena fricción con la llanta de los vehículos y con el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos; en segundo lugar, debe poseer la resistencia apropiada y las características mecánicas convenientes para soportar las cargas impuestas por el tránsito sin falla y con deformaciones que no sean permanentes y que garanticen un tráfico en buenas condiciones.

Las características de resistencia y deformabilidad se satisfacen con una capa de material que se encargue de distribuir los esfuerzos de tal modo que a la subrasante lleguen en niveles tolerables, que no produzcan falla, ni asentamientos u otras deformaciones perjudiciales. Esta capa debe estar formada por materiales friccionantes que son los más adecuados para llenar esta función estructural; esta capa es la base en pavimentos flexibles. La losa de concreto en pavimentos rígidos cumple la misma función estructural. La capacidad de carga de los materiales friccionantes es baja en la superficie por falta de confinamiento, razón por la que se requiere que sobre la base exista una capa de material cohesivo y con resistencia a la tensión; en pavimentos flexibles ésta es la carpeta asfáltica que tiene además que cubrir las condiciones de buena superficie de rodamiento. En los pavimentos rígidos la misma losa de concreto llena esta necesidad, por sus características de cohesión.

En general los pavimentos se dividen en dos tipos: los pavimentos rígidos de concreto hidráulico y los pavimentos flexibles o de asfalto. La diferencia estructural entre ellos estriba en que los pavimentos flexibles presentan muy poca resistencia a la flexión.

**Figura 2.1** Esquema de pavimentos rígido y flexible



**Fuente:** Ingeniería de Carreteras y Tránsito de Thompson Lewis

En el pavimento rígido, el hormigón absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible este esfuerzo es transmitido hacia las capas inferiores.

## **2.2 Esfuerzos en Pavimentos Rígidos.-**

El pavimento de hormigón como consecuencia de su rigidez y elevado módulo de elasticidad, tiene considerable resistencia a la flexión denominada también de viga y alta capacidad para distribuir las cargas sobre un área de suelo relativamente amplia.

Las presiones sobre el suelo o material debajo del pavimento, son muy pequeñas por la distribución de las cargas sobre una amplia superficie. Por ello la resistencia a la flexión es el factor más importante en la determinación del espesor necesario de la losa y se deduce en consecuencia que los pavimentos de hormigón no requieren subrasantes resistentes.

Los pavimentos de concreto hidráulico están sujetos a los esfuerzos siguientes:

- Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- Esfuerzos directos de compresión y cortamiento causados por las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión, que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto.
- Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

Las tensiones producidas por el tráfico y por el gradiente de temperatura, son de mayor importancia que las restantes.

La acción de estos esfuerzos ya sea aislada o conjunta es la que origina un estado de tensiones en la losa. Para disminuir las producidas por las variaciones de temperatura, humedad y retracción del fraguado, el pavimento se divide en losas, por juntas debidamente dispuestas para que las tensiones producidas sean admisibles en la práctica.

Cuando no se toman en cuenta los esfuerzos de tensión generados en la base de la losa se puede generar el agrietamiento de las losas como resultado de la resistencia por fricción que se genera en la interfase losa-capa de apoyo.

Los esfuerzos en pavimentos rígidos se analizan en la losa de concreto y provienen de varios efectos:

### **2.2.1 Por efecto de las cargas.-**

Estos esfuerzos son, en general, de los más importantes que pueden producirse. Como quiera que la resistencia a la compresión es importante, los esfuerzos de tensión producidos en la flexión de la losa, son los críticos. Para su cálculo se utilizan fórmulas originalmente obtenidas por Westergaard. Estas fórmulas están sujetas a la hipótesis de que la losa está formada por un material elástico homogéneo e isótropo; que los esfuerzos de interacción entre ella y el suelo soporte son verticales y proporcionales a las deflexiones de la propia losa y que ésta es horizontal y de espesor constante.

La segunda hipótesis implica continuidad entre losa y apoyo. Westergaard estudió tres condiciones de carga: en esquina, en el borde y en el centro de la losa.

Para la carga en esquina, la tensión máxima se produce en el plano bisector y el lecho superior de la losa.

La carga en el borde produce la tensión máxima en el lecho inferior y en la dirección paralela al borde de la losa. Cuando la carga obra en el centro, el esfuerzo máximo actúa en el lecho inferior y es, teóricamente el mismo en cualquier dirección.

El modelo de Burmister puede ser usado para determinar los esfuerzos, deformaciones y deflexiones en la subrasante si la relación de módulos del pavimento y la subrasante es cercana a la unidad, si no es así, la modelación es más compleja.

Burmister introduce transformadas de Fourier que requieren funciones de Basel para su solución y que sin la ayuda de un programa de computador no se pueden modelar estructuras de más de dos capas.

### **2.2.2 Esfuerzos por temperatura.-**

Estos esfuerzos pueden llegar a significar en la losa incluso más que los debidos a las cargas. Son principalmente de dos tipos: los de alabeo, que se producen cuando un lecho de la losa y el otro están a temperatura diferente, estableciéndose por ende flujo de calor transversalmente a la losa y los provocados por la restricción impuesta por el suelo de apoyo cuando la losa, calentada o enfriada uniformemente, trata de expandirse o contraerse.

Los esfuerzos de alabeo se producen cuando la temperatura ambiente sufre una alteración más o menos brusca, por ejemplo cuando una noche fría sigue a un día cálido.

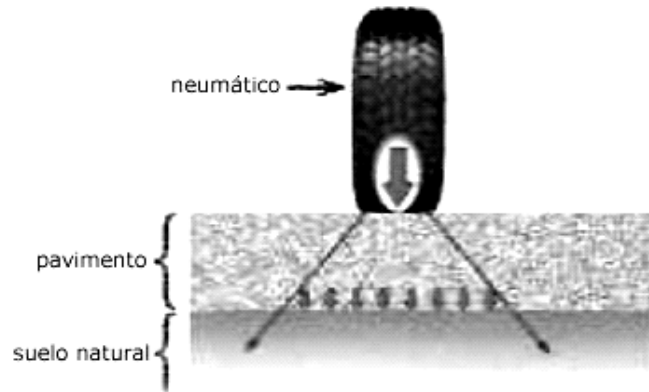
Además, existen otros esfuerzos posibles en la losa de concreto, tales como los de fraguado inicial, los causados por cambios de humedad en el concreto o los de infiltración, debidos al acuñaamiento de agregados y materias extrañas en las grietas que puedan formarse en la losa, pero en general estos esfuerzos son de pequeña magnitud y no suelen tomarse en cuenta en los análisis.

Debe notarse que la condición crítica para el diseño de la losa no se obtendrá calculando todos los esfuerzos mencionados y sumándolos. Esto sería, sin duda una condición excesivamente conservadora. Por ejemplo en un día caluroso tras noche fría habría una combinación de esfuerzos por carga, más esfuerzos por alabeo, pero la losa contraída en la noche, tenderá a expandirse en el día, por lo que la reacción de la restricción en el suelo soporte será de compresión; por lo tanto, ahora:

$$\sigma_{\text{crit}} = \sigma_{\text{cargas}} + \sigma_{\text{alabeo}} - \sigma_{\text{restricción}} \quad \text{Ec. 2.1}$$

### 2.3 Partes integrantes de un pavimento rígido.-

**Figura 2.2** Parte de un pavimento rígido



**Fuente:** Ingeniería de Carreteras y Tránsito de Thompson Lewis

Los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto hidráulico (mezcla de cemento Pórtland y agregado fino y grueso), con recubrimiento bituminoso o sin él, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de sub base de material seleccionado.

El espesor del pavimento puede variar de 15 a 45 cm, dependiendo del volumen de tráfico que deba soportar.

Los concretos usados son de resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre 210 kg/cm<sup>2</sup> y 350 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. En general, se usa concreto simple y, ocasionalmente, reforzado. Las losas de concreto simple son de dimensiones pequeñas, del orden de 4 metros a 8 metros; estas dimensiones aumentan al usar algún refuerzo y llegan a los 100 metros en concretos presforzados. Los espesores usados para las losas son del mismo orden usando o no refuerzo.

Cuando este pavimento se construye en forma adecuada y se controlan las exigencias de calidad tienen larga vida y un costo de mantenimiento relativamente bajo.

Es de suma importancia, prestar atención especial a la preparación del terreno natural y al diseño y construcción de las subrasantes y sub-bases, para lograr la capacidad estructural y la comodidad de la marcha de vehículos en todos los tipos de pavimentos.

En el caso de pavimentos de concreto, los requisitos pueden variar considerablemente dependiendo del tipo de suelo de la subrasante, de las condiciones ambientales y de la cantidad de tráfico pesado. Cualquiera que sea el caso, el objetivo deberá ser el poder obtener una condición de apoyo uniforme para el pavimento durante toda la vida útil de éste.

Debido a su rigidez, bajo un pavimento de hormigón no es imprescindible en principio un cimiento de elevada capacidad de soporte. Las presiones verticales bajo la losa son muy pequeñas: las máximas, medidas en diferentes condiciones de apoyo, no suelen superar los 0,035 Mpa con una carga interior de 65 KN sobre la losa de 20 cm, aunque son algo mayores en los bordes y en las esquinas.

### **2.3.1 Terreno de fundación.-**

Constituye, como se ha mencionado, la capa de apoyo de los pavimentos, la cual puede ser formada por el propio terreno natural, perfilado y compactado adecuadamente. Sin embargo, cuando el material local no tiene las características para cumplir tal función, por presentar problemas de expansión, bajo valor relativo de soporte, etc., se recurre a la utilización de materiales seleccionados de menor calidad, o bien a su tratamiento con productos tales como cemento Pórtland, cal, asfaltos, etc., dependiendo su selección de aspectos prácticos y económicos. La capacidad de respuesta estructural de la subrasante se determina mediante el módulo de reacción,  $k$ , que constituye uno de los principales parámetros de diseño de los pavimentos rígidos.

El valor del modulo  $k$  se determina mediante pruebas de placa, las que, aun cuando deben realizarse en la generalidad de los casos con frecuencia se correlacionan con otros indicadores, tales como los valores de CBR.

### 2.3.2 Capa Sub Base.-

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase.

Las capas sub base pueden ser:

- Granulares no triturados
- Granulares triturados
- Estabilizados con Cemento
- Estabilizados con Asfalto

Las funciones de la capa sub base son:

- Constituye una plataforma estable de trabajo durante la construcción del pavimento.
- Mejorar el drenaje y reducir al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Controlar los cambios volumétricos de la subrasante.
- Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante
- La función más importante es impedir el fenómeno de bombeo

Para el control de calidad de los materiales de sub base se tiene los siguientes parámetros de control:

- ↻ Granulometría
- ↻ Plasticidad
- ↻ Desgaste
- ↻ Solidéz
- ↻ Forma de las partículas
- ↻ Grado de trituración
- ↻ Equivalente de arena y materia orgánica
- ↻ Grado de compactación
- ↻ Resistencia

### **2.3.3 Losa de Hormigón.-**

Se constituye la capa de rodadura es la que soporta directamente las solicitaciones del tráfico.

## **2.4 Juntas de los pavimentos rígidos.-**

En el diseño de juntas está comprendida la determinación de espaciamiento de juntas longitudinales y transversales, transferencia de cargas, construcción de las juntas y materiales de sellado.

### **2.4.1 Tipos de Juntas.-**

En los pavimentos rígidos las juntas pueden dividirse en cuatro grupos principales, cuyo detalle se muestran en la Fig. 2.3

#### **2.4.1.1 Juntas de contracción.-**

Son las que se construyen para controlar las fisuras por liberación de tensiones debidas a temperatura, humedad y fricción.

#### **2.4.1.2 Juntas de expansión.-**

Estas juntas son colocadas en donde se permita el movimiento del pavimento sin dañar estructuras adyacentes (puentes, estructuras de drenaje, etc.) ó el mismo pavimento.

#### **2.4.1.3 Juntas de construcción.**

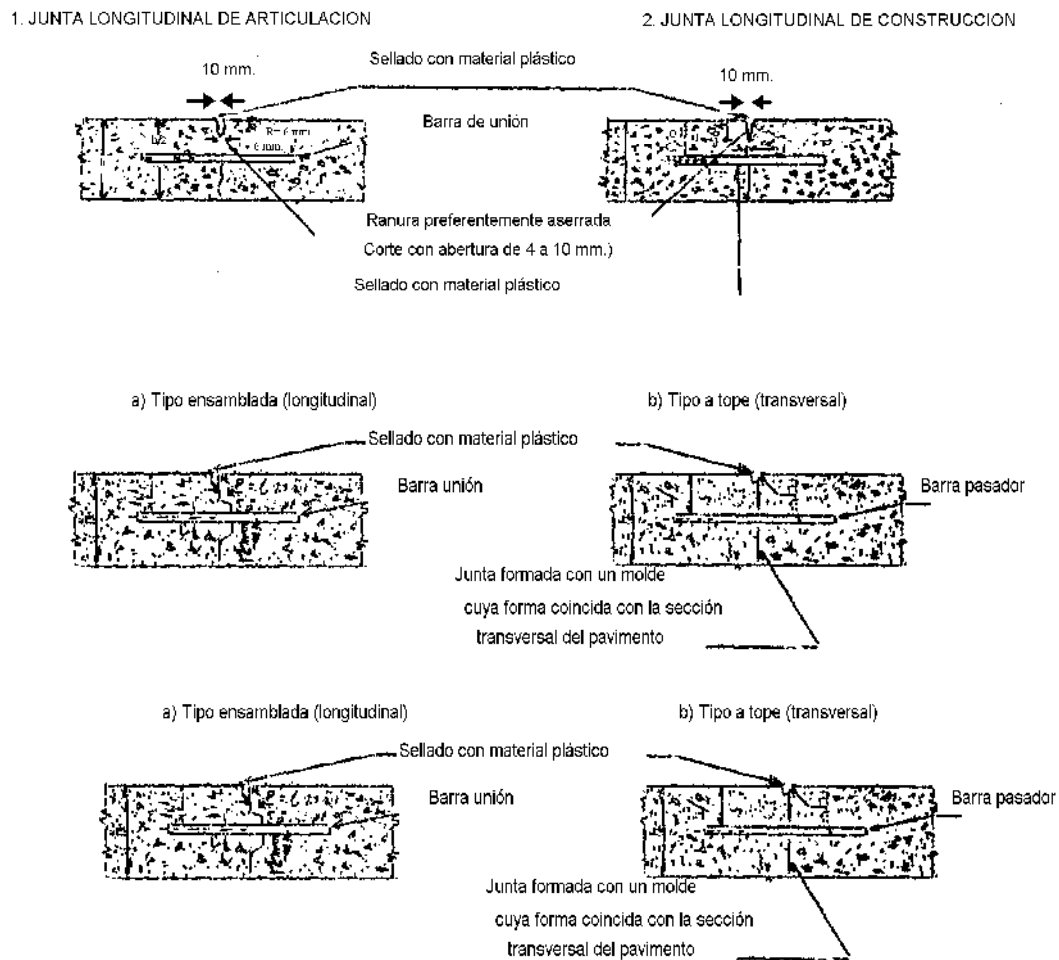
Son las juntas colocadas al final de un día de pavimentación ó por cualquier otra interrupción a los trabajos (por ejemplo los accesos ó aproches a un puente).

#### 2.4.1.4 Juntas de alabeo o articulación.

Las juntas de alabeo o juntas articuladas tienen por misión evitar los agrietamientos a lo largo del eje central de los pavimentos o en las líneas de unión de las diferentes hileras de losas que se producirían al elevarse sus bordes cuando la losa es cargada.

Las juntas suelen denominarse longitudinales o transversales, según en el sentido en que estén dirigidas dentro de la carretera.

**Figura 2.3** Detalle de juntas transversales y longitudinales con sus pasadores

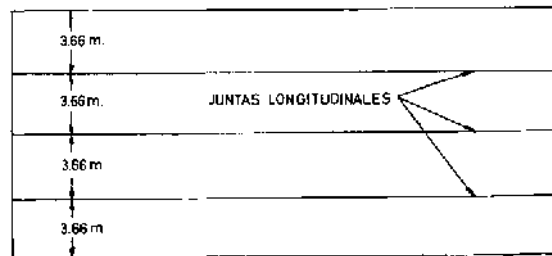


**Fuente:** Pavimentos Rígidos CEMEX

### 2.4.1.5 Juntas longitudinales.

Las juntas longitudinales son aquellas que se construyen paralelas al eje del camino con el fin de permitir los movimientos relativos de las diversas losas. En los caminos, la cantidad de juntas longitudinales depende del ancho de calzada de los mismos, escogiéndose, muy comúnmente, en forma tal que ellas dividan a la calzada en el número de las vías necesarias para la circulación, como se muestra en la Fig. 2.4

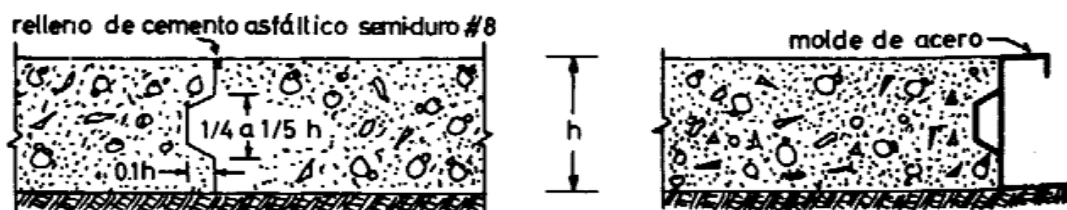
Figura 2.4 Juntas longitudinales



Fuente: Pavimentos Rígidos CEMEX

Aunque las juntas longitudinales pueden ser proyectadas y construidas de diferente manera, es muy común que se emplee el tipo macho y hembra que se muestra a continuación en la fig. 2.5

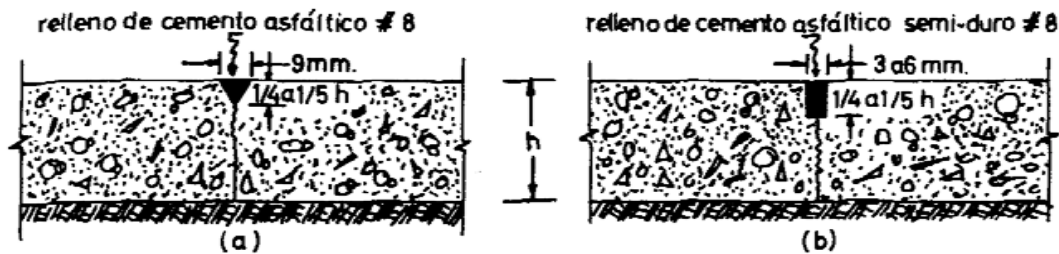
Figura 2.5 Juntas longitudinales tipo macho y hembra



Fuente: Pavimentos Rígidos CEMEX

Sin embargo en muchas ocasiones conviene pavimentar en una sola operación la anchura correspondiente a dos carriles, dividiéndola enseguida mediante una junta longitudinal de ranura del tipo similar a alguno de los que se muestra a continuación en la fig. 2.6

**Figura 2.6** Juntas longitudinales de plano debilitado



**Fuente:** Pavimentos Rígidos CEMEX

Las dos juntas longitudinales anteriores (a) y (b) presentan una diferencia en la forma de llevar a cabo su construcción.

El tipo (a) se construye con una piedra de carborundum que se introduce una vez fraguado el hormigón. El tipo (b) se construye ya sea mediante una piedra carborundum como en el inciso (a) o bien mediante un listón de madera que se introduce inmediatamente después del vaciado o colocado del concreto. Estas juntas se llaman juntas de plano debilitado.

Cuando las juntas longitudinales son de construcción, deben efectuarse, en todos los casos, del tipo macho y hembra. Para ello se provee al molde lateral de una saliente trapecial para que se efectúe el moldeo de la forma indicada. Generalmente se prefiere que los moldes sean metálicos, pero en el caso de ser de madera deben acoplarse para evitar las adherencias y aumentos de volumen por la humedad.

#### **2.4.1.6 Juntas transversales.**

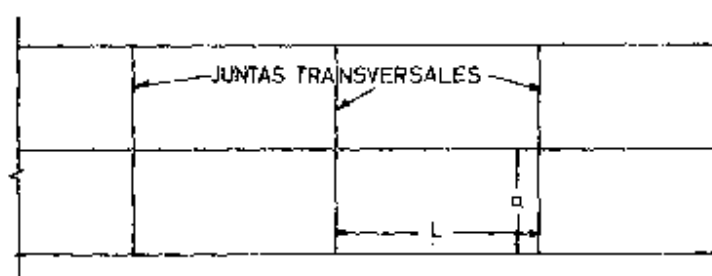
Las juntas transversales en los pavimentos rígidos tienen por objeto evitar el agrietamiento debido al esfuerzo que se provoca por la contracción y alabeo de las losas.

Las juntas transversales de contracción usadas para evitar los esfuerzos debidos a la disminución de volumen, se construyen de manera análoga a las juntas de tipo de plano debilitado, o se emplean las llamadas juntas de contracción sumergidas.

Para determinar el espaciamiento L (Fig. 2.7) de las juntas transversales de contracción se hace el razonamiento siguiente:

La contracción o dilatación de una losa entre dos juntas transversales se ve, en parte, coartada por la fricción entre la losa y el terreno provocando con ello esfuerzos que pueden ser perjudiciales en las primeras horas de vaciado del concreto. Para una contracción de una losa, el máximo esfuerzo de tensión se producirá en la sección media y tendrá, en toneladas por metro cuadrado el siguiente valor.

**Figura 2.7** Juntas transversales



**Fuente:** Pavimentos Rígidos CEMEX

**Tabla 2.1** Separación para diferentes tipos de agregados

TIPO DE AGREGADO	SEPARACIÓN MÁXIMA ENTRE JUNTAS
Granito triturado	7,40 m
Gravas calizas	6,00 m
Gravas silicosas	4,50 m
Escorias de alto horno	3,00 m

**Fuente:** Vías Terrestres de Rico Rodríguez

Como se dijo anteriormente las juntas pueden ser proyectadas y construidas de diferente manera, estas se pueden crear tanto en fresco, como mediante el cerrado del hormigón endurecido.

Más adelante nos referimos como las juntas también pueden contar con la presencia de dispositivos especiales como son los pasadores, en caso de haber juntas transversales sin pasadores, es frecuente realizar éstas con un esviaje de  $1/6$ , orientado de tal manera que los vehículos al circular pisen la junta antes con la rueda izquierda que con la derecha. En cuanto a la separación de las mismas, en pavimentos de carreteras y autopistas puede estar comprendida entre 3,5 y 4,5 m aproximadamente, siendo también usual que no sea constante, sino que oscile entre los límites anteriores. Por el contrario, las juntas con pasadores se suelen disponer normales al eje de la calzada, con una separación fija de del orden de 5 m. En aeropuertos y otros tipos de superficies donde se utilizan pavimentos de mayor espesor, las distancias anteriores suelen aumentarse.

Cualquiera que fuere el procedimiento constructivo de las juntas, la profundidad de la ranura debe ser por lo menos igual a  $1/4$  del espesor total de la losa.

La necesidad de sellar o no las juntas depende de muchos factores, siendo uno de los más importantes la pluviometría de la zona. Se dispone de una gran variedad de productos de sellado, que en esencia pueden dividirse en productos aplicados en caliente o en frío y en perfiles preformados. Existen grandes diferencias tanto en su precio como en su durabilidad, por lo que en cada obra debería hacerse un balance entre los costos de instalación y de reposición de las distintas soluciones.

Es importante también analizar que el material que se utiliza de relleno no deje bordes, por ejemplo el mástico asfáltico, que prácticamente está cayendo en desuso debido a lo molesto que resulta este tipo de relleno por la irregularidad en la superficie y por la serie de brincos que provocan en el tránsito.

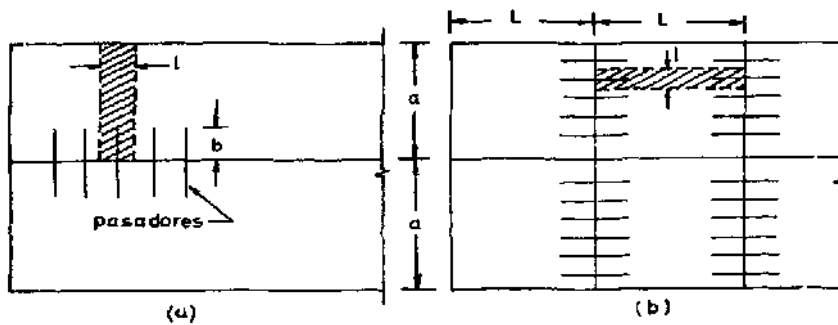
#### **2.4.2 Dispositivos especiales en juntas.**

Con el propósito de mantener unidas las losas de hormigón, o con el fin de transmitir cargas verticales de una losa a otra, se emplean dispositivos especiales llamados pasadores y pasajuntas.

Estos dispositivos se hacen de dos maneras, según el fin que con ella se persiga:

- a) Si su objeto es el de mantener con ellos unidas las losas, soportarán nada más cargas axiales. En este caso el esfuerzo máximo de tensión a que las barras pasadores pueden estar sometidas será igual al esfuerzo necesario para la fricción entre el pavimento y la sub-rasante o la base, en la distancia comprendida entre la junta y el borde libre, del pavimento en el caso de que los pasadores se coloquen en las juntas longitudinales; si los pasadores se colocan en las juntas transversales, la distancia a considerar será entonces aquella que separa a dichas juntas dividida entre dos ( $L/2$ ).

**Figura 2.8 Pasadores**



**Fuente:** Pavimentos Rígidos CEMEX

Es muy común emplear como pasadores varillas corrugadas redondas de 5/8" de diámetro.

La separación entre pasadores en el caso de que se coloquen en las juntas longitudinales como se puede ver la fig. 6-III (a) se obtendrá de la igualdad.

$$l * a * h * \gamma * f = \frac{\pi * d^2}{4} * f_s \quad \text{Ec. 2.2}$$

De donde, la separación entre pasadores será:

$$l = \frac{\pi * d^2 * f_s}{4 * a * h * \gamma * f} \quad \text{Ec. 2.3}$$

$l$  = Separación entre pasadores, en cm.

$d$  = Diámetro, en cm de la varilla usada como pasador.

$f_s$  = Esfuerzo de trabajo a tensión, en  $\text{kg/cm}^2$ , del acero empleado como pasador.

$a$  = Distancia en cm, de la junta al bordo del pavimento (fig. 2.8 (a))

$h$  = Espesor, en cm de las losas.

$\gamma$  = Peso volumétrico del concreto en  $\text{kg/cm}^3$

$f$  = Coeficiente de fricción del concreto con la subrasante o con la base (usualmente es 2).

La longitud de las barras pasadores que se emplean para mantener las losas unidas, dependerá de su adherencia con el concreto. La longitud  $b$  como se puede ver en la fig. 2.8 (a) se puede calcular con la formula siguiente:

$$p * b * u = \frac{\pi * d^2}{4} * f_s \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

$p$  = Perímetro en cm

$b$  = Longitud de la barra en cm

$u$  = Esfuerzo admisible de adherencia entre la barra y el concreto en  $\text{kg/cm}^2$

$d$  = Diámetro en cm

En el caso de que se empleen los pasadores en las juntas transversales, el procedimiento que se sigue es el mismo, nada más que ahora la longitud de la franja  $l$ , en vez de ser  $a$ , es  $L/2$ .

Es prudente recalcar que, los pasadores que se emplean para mantener unidas a las losas deben ser varillas corrugadas que se adhieran bien al concreto.

Una vez calculada la longitud de la barra y la separación entre estas, que por cierto la separación no debe ser mayor a 75 cm, se procede a determinar el espacio entre una barra

de unión extrema y la junta. Basándose en la experiencia esta última debe ser la mitad de la separación entre barras. Las barras se ubican en la mitad del espesor total de la losa.

Si el objeto de los pasa-juntas es el de transmitir cargas de una losa a otra, permitiendo que las losas puedan abrir y cerrar, pero manteniendo las losas a la misma altura, ellas deben formarse con varillas lisas redondas en las que un extremo de cada varilla debe estar engrasado o pintado para evitar su adherencia al concreto. Experiencias han demostrado que la longitud de las varillas pasa-juntas debe estar comprendida entre 30 y 40 cm de tal manera que penetren de 15 a 20 cm en cada una de las losas.

Es aconsejable que la separación entre barras no sea superior a 45 cm ni inferior a 20 cm; la separación entre una barra pasador extrema y el borde libre del pavimento, estará comprendida entre 22,5 y 10 cm, estas barras son ubicadas en la mitad del espesor de la losa.

**CAPÍTULO III**  
**ANÁLISIS METODOLÓGICO DEL MÉTODO EMPÍRICO - MECANÍSTICO**  
**AASHTO 2008 PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS**

**3.1 DEFINICIÓN.-**

La nueva guía de diseño de pavimentos mecánico-empírico es actualmente la herramienta más completa que existe para el análisis y diseño de pavimentos nuevos y rehabilitados.

• **Mecanístico:** Calcular la respuesta del pavimento (esfuerzos, deformaciones unitarias, y deflexiones) debido a:

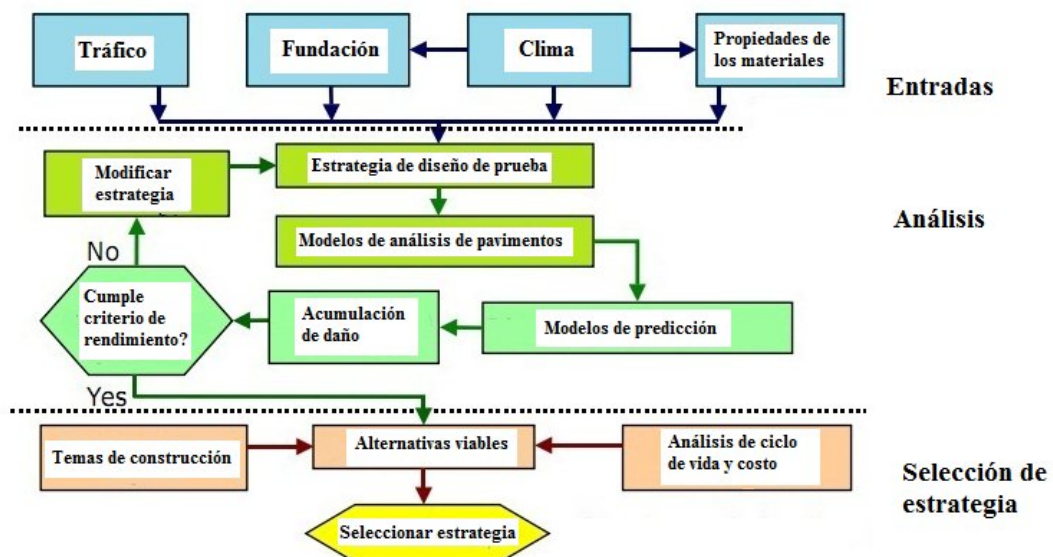
- Cargas de tráfico
- Condiciones medio-ambientales

Acumulación de daño a través del tiempo

• **Empírico:** Relacionar el daño acumulado a través del tiempo a fallas del pavimento.

- Fisuramiento
- Ahuellamiento
- Falla

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



**Fuente:** AASHTO 2008

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, 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).
- Seleccione 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 las respuestas estructurales (tensiones y deformaciones), utilizando la teoría de elementos finitos basado en los modelos de pavimento de respuesta para cada tipo de eje, carga y por cada incremento de daño durante el período de cálculo de diseño.
- 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 con el método calibrado mecánico-empírico de alto rendimiento en la Guía.
- 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 un 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 repita los pasos 4 al 9 de arriba hasta que el diseño cumple los criterios.

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 de materiales no consolidados, 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 camión clasificaciones de tipos para determinar el peso normalizado eje y el tipo de camión distribuciones.

### **3.2 PRINCIPIOS DEL MÉTODO AASHTO 2008.-**

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 debidas 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).

Entradas a los modelos de respuesta del pavimento son:

1. Geometría del pavimento a. Espesor de la losa.
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

Las salidas del modelo de respuesta del pavimento son las tensiones, deformaciones y desplazamientos dentro de las capas del pavimento. De particular interés son la respuesta crítica de las variables necesarias como insumos para los modelos de falla del pavimento en el procedimiento de diseño mecánico-empírico. Ejemplos de variables críticas del pavimento de respuesta 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
- Tensiones de compresión vertical / tensión en las capas de base / sub-base
- Tensiones de compresión vertical / cepas en la parte superior de la subrasante (de sub-base )

### **3.2.1 UBICACIÓN DEL ANÁLISIS.-**

Cada variable de respuesta del pavimento debe ser evaluado en el lugar fundamental dentro de la capa de pavimento donde el parámetro está en su valor más extremo. Para una sola rueda de carga, la ubicación crítica por lo general se puede determinar por la inspección. Por ejemplo, el lugar crítico para la capa de tracción horizontal 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 el pavimento de la estructura. Condiciones de tráfico mixto (individuales, además de múltiples rueda / eje del tipo vehículo) 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 pavimento modelo debe buscar la ubicación crítica para cada parámetro de respuesta en estos casos.

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 se establece el tiempo  $t=0$  para el modelo climático, la humedad del régimen dentro de las capas no consolidados y sub-base se supone que es 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 la construcción se producirá 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 se completamente desconocido, el diseñador puede utilizar el mes en el que la mayoría de la construcción los pavimentos se produce en la zona.
- Mes de apertura al tráfico.- El mes en el que espera que el pavimento este 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 se supone). 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 construcción de los pavimentos se terminó en el lugar.
- Tipo de pavimento.- Esta entrada determina el método de diseño las evaluaciones y los modelos de funcionamiento aplicables.

### **3.3 ANÁLISIS METODOLÓGICO DEL MÉTODO AASHTO 2008**

#### **3.3.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE ENTRADA.-**

##### **3.3.1.1 Parámetro IRI.-**

El IRI inicial define la rugosidad del pavimento tal como fue construido. Este parámetro depende en gran medida 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 in/mi.

### **3.3.1.2 Criterios de rendimiento.-**

El diseñador puede seleccionar algunos o todos de 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.

### **3.3.1.3 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 hacia abajo agrietamiento por fatiga se define como la máxima longitud permitida de agrietamiento longitudinal por kilómetro de pavimento que se permite que se produzca durante el período de diseño. Los valores típicos de grietas en la superficie permitida por la fatiga, se encuentran en el orden de los 1000 pies por milla de pavimento.

### **3.3.1.4 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 de control de estas grietas puede resultar en la falla prematura de los pavimentos flexibles.

El criterio de desempeño de agrietamiento de abajo hacia arriba se define como el área máxima de grietas cocodrilo expresado como porcentaje del área total de carril que está permitido que ocurren durante el período de diseño. Los valores típicos de la permitida de abajo hacia arriba, agrietamiento por fatiga son en el orden del 25 al 50% del área total de carril.

#### **3.3.1.5 Fisuramiento térmico.-**

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 subyacente del pavimento y pueden ocasionar un fallo estructural del pavimento. El fisuramiento térmico también 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 que permite que se produzcan en el período de diseño. Los valores típicos de fisuramiento térmico permisible son del orden de 1000 pies por milla de pavimento.

#### **3.3.1.6 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 la superficie arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba fractura por fatiga 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 para la formación de grietas de fatiga en químicamente estabilizada se define en términos de un índice de daño. Diseño típico de los valores de

índices de daño para la formación de grietas de fatiga en capas químicamente estabilizadas, son del orden de 25%.

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

Deformación permanente, la mayoría normalmente se manifiesta como surcos dentro de la huella del camino. Deformación total permanente en la superficie es la acumulación de la deformación permanente en todas las capas de asfalto y no consolidados 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 para la deformación total permanente se define en términos de la máxima profundidad del surco, dejado en la trayectoria de la rueda. Típico de las profundidades máximas de rutina permanente total son deformaciones 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.

### **3.3.1.8 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 in/milla se utilizan para el IRI, en función de la clase de pavimento y la fiabilidad del diseño.

### **3.3.2 PARÁMETRO TRÁFICO.-**

Los datos de tráfico es uno de los elementos de datos clave requeridos para el análisis y diseño de las estructuras de pavimentos. La opción de tráfico estándar para el diseño de pavimento rígido es especificar el espectro de la carga real de ejes simple, doble, tridem.

La segunda opción de tráfico de pavimentos rígidos es la configuración de ejes especiales. Esta opción permite el análisis de 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 causado por uno o varios pasos del vehículo especial para la estructura del pavimento.

#### **3.3.2.1 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 circulación de los vehículos.- Esta entrada se utiliza en el cálculo de los módulos obligados de las capas de asfalto.

#### **3.3.2.2 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 el pavimento de la estructura. 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 de corto de tiempo, y la magnitud y duración dependerá de la velocidad del vehículo, el tipo y la geometría de la estructura del pavimento, y la ubicación del elemento en cuestión.

La Figura 3.1 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.

A medida que la carga se mueve al lado derecho, la tensión en el punto A se incrementará y alcanza un valor máximo cuando la carga está directamente encima del punto A y disminuirá a medida que la carga se aleja del punto A.

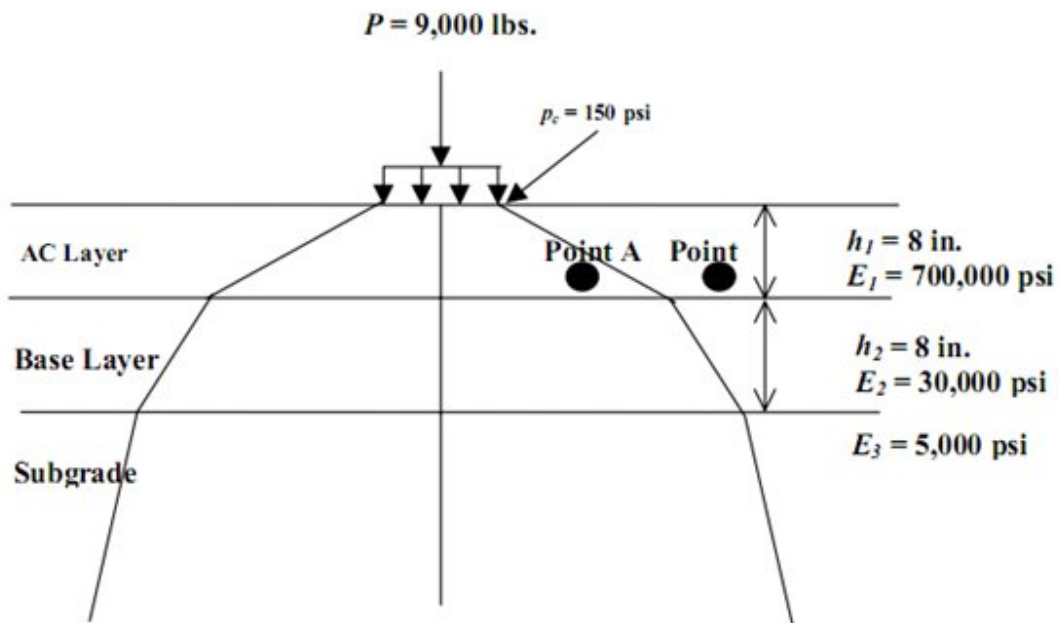


Figura 3.1 Distribución de tensión bajo la carga de la rueda

Fuente: AASHTO 2008

En la tabla 3.1 se presentan algunas recomendaciones sobre la velocidad típica de operación de vehículos por vía de tipo de establecimiento. Tenga en cuenta que las frecuencias correspondientes a distintas velocidades también se indican en la tabla de ubicaciones de profundidad media.

**Tabla 3.1** Recomendaciones para la selección de la velocidad de funcionamiento del vehículo.

Tipo de Carretera	Velocidad de Operación (mph)	Estimación media de la Frecuencia		
		Capa – Espesor (hz)		
		Capa de Rodadura (4 – 12 in)	Capa de Rodadura, Delgada Subrasante (1 – 3 in)	Capa de Rodadura con Sub Base de (3 – 12 in)
Interestatal	60	15 – 40	45 – 95	10 -25
Estatad Primaria	45	10 – 30	35 – 70	15 – 20
Carretera Urbana	15	5 – 10	10 – 25	5 – 10
Intersección	0.5	0.1 – 0.5	0.5 – 1.0	0.1 – 0.25

**Fuente: AASHTO 2008**

### 3.3.2.3 Ajuste de volumen de tráfico.-

Los factores de distribución mensual de camiones 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 AADTT. 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 determinado (24 horas de su recolección continua de datos), determinar el total del número de camiones (en una clase determinada)

para cada período de 24 horas. Si no se recogieron datos de todo el período de 24 horas, el tráfico medido de camiones diarios debe ser ajustada para representante de un período de 24 horas.

- Utilizando datos representativos de todos los días recogidos por los diferentes meses dentro de un año, determinar el promedio de tráfico diario de camiones por cada mes del año.
- Resumiendo el tráfico medio de camiones al día por cada mes durante todo el año.
- Calcular 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.

#### **3.3.2.4 Distribución de vehículos por clase.-**

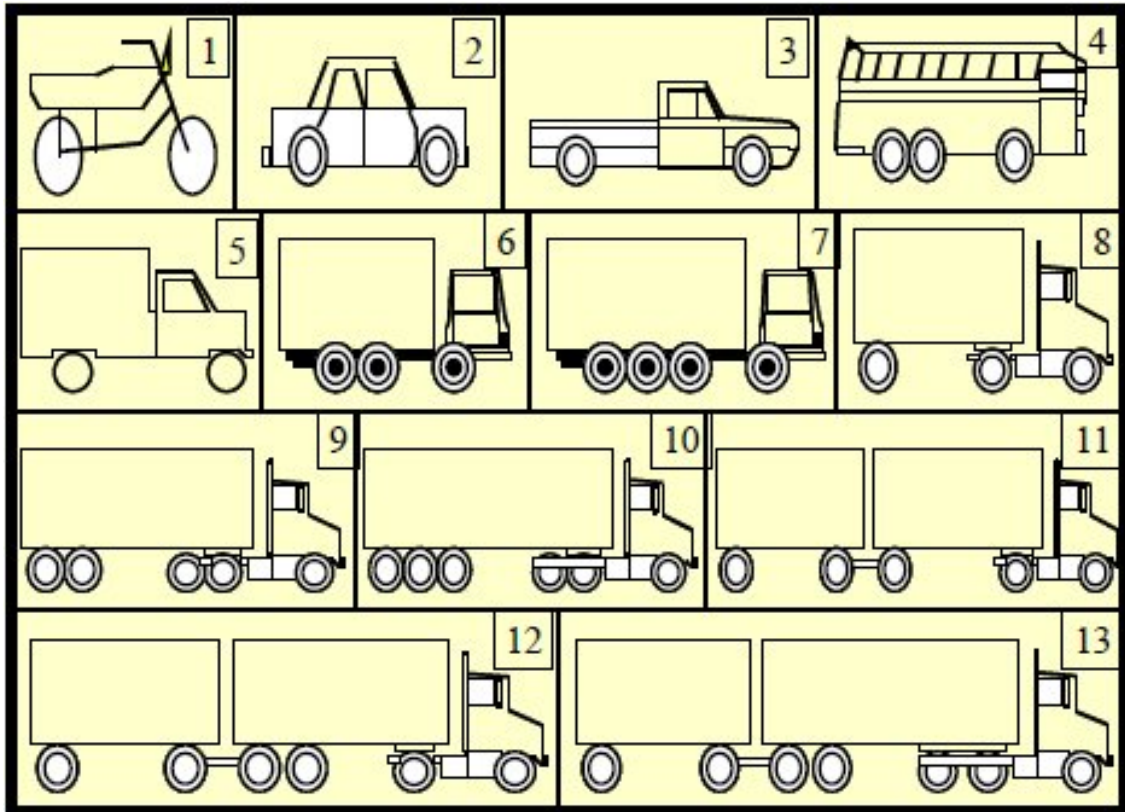
La distribución de vehículos por clase normalizada representa el porcentaje de cada clase de vehículo (clases de 4 a 13) en el AADTT para el año base. La suma de los porcentajes AADTT de todas las clases de camión debe ser igual a 100. Es importante tener en cuenta que si el sitio específico (nivel 1) o los datos regionales (nivel 2) no hay 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.

Por defecto del vehículo factores de distribución de clase (nivel 3) medida por los datos de tráfico son LTPP proporciona como parte de la Guía de software de diseño. El valor por defecto del vehículo son factores de distribución de clase elegidos en base a la clase de función de carretera y la mejor combinación de tráfico de camiones Clasificación (TTC) grupos que 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 el flujo de tráfico para las clases funcionales diferentes se presentan en la tabla 3.2 Cada grupo TTC representa un flujo de tráfico con características únicas del tráfico de camiones (véase el cuadro 3.2).

**Tabla 3.2** Clasificación vehicular de FHWA



Fuente: AASHTO 2008

**Tabla 3.3** Clasificación de tráfico de camiones (TTC) la descripción de grupo y el vehículo correspondiente (camiones) la distribución de la clase los valores predefinidos (porcentajes) considerado en el Software de Guía de Plan.

TTC GROUP	TTC Descripción	Vehículo / Distribución de Clase de Camión (porcentaje)									
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Camión de solo - remolque mayor (Tipo I)	1.3	8.5	2.8	0.3	7.6	74	1.2	3.4	1	0.3
2	Camión de solo - remolque mayor (Tipo II)	2.4	14.1	4.5	0.7	7.9	66.3	1.4	2.2	0	0.2
3	Solo mayor - y multi – remolques de camión (Tipo I)	0.9	11.6	3.6	0.2	6.7	62	4.8	2.6	1	6.2
4	Solo mayor - y multi – remolques de camión (Tipo III)	2.4	22.7	5.7	1.4	8.1	55.5	1.7	2.2	0	0.4
5	Solo mayor - y multi – remolques de camión (Tipo II)	0.9	14.2	3.5	0.6	6.9	54	5	2.7	1	11
6	Luz en intermedio de camión de solo-remolque (Tipo I)	2.8	31	7.3	0.8	9.3	44.8	2.3	1	0	0.3
7	Camiones acomodados a otro modelo de camiones (Tipo I)	1	23.8	4.2	0.5	10.2	42.2	5.8	2.6	1	8.4
8	Camión de multi-remolque mayor (Tipo I)	1.7	19.3	4.6	0.9	6.7	44.8	6	2.6	2	11.8
9	Luz en intermedio de camión de solo-remolque (Tipo II)	3.3	34	12	1.6	9.9	36.2	1	1.8	0	0.3
10	Camiones acomodados a otro modelo de camiones (Tipo II)	0.8	30.8	6.9	0.1	7.8	37.5	3.7	1.2	5	6.7
11	Camión de multi-remolque mayor (Tipo II)	1.8	24.6	7.6	0.5	5	31.3	9.8	0.8	3	15.3
12	Luz en intermedio de camión de solo-remolque (Tipo III)	3.9	40.8	12	1.5	12.2	25	2.7	0.6	0	1.3
13	Camiones acomodados a otro modelo de camiones (Tipo III)	0.8	33.6	6.2	0.1	7.9	26	11	1.4	3	10.3

14	Camión de luz mayor (Tipo I)	2.9	56.9	10	3.7	9.2	15.3	0.6	0.3	0	0.3
15	Camión de luz mayor (Tipo II)	1.8	56.5	8.5	1.8	6.2	14.1	5.4	0	0	5.7
16	Camión luz mayor de multi-remolque	1.3	48.4	11	1.9	6.7	13.4	4.3	0.5	0	12.6
17	Autobús mayor	36	14.6	13	0.5	14.6	17.8	0.5	0.8	0	1.5

**Fuente: AASHTO 2008**

**Tabla 3.4** La guía sugiere seleccionar los diferentes grupos de TTC apropiados para la carretera, las clasificaciones funcionales.

<b>Descripciones de la Clasificación Funcional de las Carreteras.</b>	<b>Clasificación de Tráfico de Camiones Aplicable al Número de Grupo.</b>
Arterias principales - Interestatal y Rutas Secundarias	1,2,3,4,5,8,11,13
Arterias principales - las Rutas Interestatales, Incluso las Autopistas	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 Mayores	6,9,12,14,15,17
Colectores Menores	9,12,14,17
Rutas locales y Calles	9,12,14,17

**Fuente: AASHTO 2008**

**Tabla 3.5** Definiciones y descripciones para los grupos de TTC.

Autobuses en la Clasificación del Tráfico	Artículos que se Transportan por el Tipo de Camión		TTC Group No.
	Multi - Remolque	Solo-remolque y Solo-Unidad	
No nunca o ninguno (<2%)	Cantidad relativamente alta de los camiones del multi-remolque (>10%)	Predominantemente camiones de un solo-remolque.	5
		Porcentaje alto de camiones de un solo-remolque, pero algún solo-unidad transporta en camión.	8
		Tráfico de camiones mezclado con un porcentaje más alto de camiones de un solo-remolque.	11
		Tráfico de camiones mezclado con sobre el igual los porcentajes de solo-unidad y solo-remolque.	13
		Predominantemente los camiones de solo-unidad.	16
	Cantidad moderada de los camiones del multi-remolque (2-10%)	Predominantemente los camiones de un solo-remolque.	3
		Tráfico del camiones mezclado con un porcentaje más alto	7

		de camiones de un solo-remolque.	
		Tráfico del camiones mezclado con sobre e igual los porcentajes de solo-unidad y solo-remolque.	10
		Predominantemente los camiones de solo-unidad.	15
Poco para moderar (>2%)	Poco o ninguno (<2%)	Predominantemente los camiones de un solo-remolque.	1
		Predominantemente solo-remolque transporta en camión, pero con un porcentaje bajo de camiones de solo-unidad.	2
		Predominantemente solo-remolque transporta en camión con un poco para moderar cantidad de solo-unidad.	4
		Tráfico de camiones mezclado con un porcentaje más alto de camiones del solo-remolque.	6
		Tráfico de camiones mezclado con sobre e igual los porcentajes de	9

		solo-unidad y solo-remolque.	
		Tráfico de camiones mezclado con un porcentaje más alto de camiones de solo-unidad.	12
		Predominantemente camiones de solo-unidad.	14
Autobús mayor (>25%)	No nunca o ninguno (<2%)	Tráfico de camiones mezclado con sobre e igual solo - unidad y camiones de solo-remolque.	17

**Fuente: AASHTO 2008**

Los diseñadores deben escoger el conjunto predeterminado de la clase de distribución de vehículos para el TTC que más se describe el flujo de tráfico de diseño para la carretera en fase de diseño.

Hay que señalar que la recaudación de ese lugar o específicas de segmento o regionales y los datos de tráfico en todo el estado debe empezar años antes del inicio del diseño para asegurar que una cantidad adecuada de los datos es utilizados en el análisis. Esto tal vez poco práctico, por lo que para muchos proyectos, una agencia puede optar por utilizar una combinación de concreto y regionales de datos del sitio para reducir el tiempo necesario para recoger las necesarias de datos. El diseño de software permite a los diseñadores a introducir directamente la clasificación de vehículos factores de distribución (niveles 1 a 3) o la importación de un archivo ya preparado para el nivel 3.

### **3.3.2.5 Distribución de tráfico de camiones por hora.-**

Los factores de distribución horaria representan el porcentaje de la AADTT dentro de cada hora del día. Los factores de distribución horaria (HDF) representan el porcentaje de la AADTT 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 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 los porcentajes del total de camiones dentro de cada hora de la siguiente manera:

- Revise 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 cuentan dentro de cada hora de cada 24 horas el tráfico muestra.
- Dividir el número total de camiones cuentan dentro de cada hora por el número total de camiones en cuenta para los de 24 horas toda la muestra y multiplicar por 100.

La suma del porcentaje de tráfico de camiones diarios por incremento de tiempo debe sumar el 100 %.

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.

**Tabla 3.6** Distribución de tráfico de camiones de cada hora valores predefinidos basados en LTPP trafican los datos.

Período de Tiempo	Distribución %	Período de Tiempo	Distribución %
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**

### 3.3.2.6 Factores de crecimiento del tráfico.-

La función de crecimiento del tráfico permite que 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 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 tráfico), y la vida de diseño (que se examinan en la categoría básica de entrada de información), el tráfico se proyecta hacia el futuro.

### **3.3.2.7 Factores de distribución de carga por eje.-**

Los factores de carga por eje de distribución, simplemente representan el porcentaje de total del eje de aplicaciones dentro de cada intervalo de carga para un tipo específico del eje y el vehículo de clase (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 simples.- 3.000 libras - 41.000 libras a 1.000 libras de intervalos.
- Ejes tandem.- 6.000 libras - 82.000 libras a 2.000 libras de intervalos.
- Tridem y ejes Quad.- 12.000 libras - 102.000 libras a 3000 libras de intervalos.

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) por este procedimiento de diseño, los espectros de carga se han normalizado sobre una base anual, porque no sistemático o significativa año a año o mes a mes se encontraron diferencias en el análisis de la LTPP WIM datos (5).

### **3.3.2.8 Entradas Generales de Tráfico.-**

La mayoría de las entradas de esta categoría se define como 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.

### **3.3.2.9 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. 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) distancia media de la rueda de 18 pulgadas se ofrece en el software de la Guía de diseño. Esto es recomendable si la información más exacta no está disponible.

### **3.3.2.10 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.

Los diferentes niveles para el tráfico de son:

- 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 las mediciones en las carreteras 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) significa que el tráfico de camiones deambulan por la desviación estándar de 10 pulgadas esto se ofrece en la Guía de diseño de software. Esto es recomendable si una información más precisa es n.

#### **3.3.2.11 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 rígido. El valor por defecto para los carriles de ancho estándar es de 12 ft.

#### **3.3.2.12 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 (simple, tándem, tridem 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 basado en el análisis de bases de datos nacionales, tales como las bases de datos LTPP.

El dato por defecto (Nivel 3) 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 la tabla 3.7.

**Tabla 3.7** Valores predefinidos sugeridos para el medio número de solo, tándem y ejes tridem por la clase del camión.

Clasificación de Camiones	Número de Ejes Simples por Camión	Número de Ejes Tándem por Camión	Número de Ejes Tridem 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 del quad en la clase de camiones es 0.00, porque no hay datos en la LTPP tráfico base de datos. **Fuente: AASHTO 2008**

### 3.3.2.13 Configuración del eje.-

Una serie de elementos 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, el sitio específico de valores pueden ser utilizados, si está disponible.

- Ancho promedio del eje.- La distancia entre dos bordes exteriores de un eje. Para camiones típicos, 8,5 pies puede suponer para la anchura del eje.
- Separación de los neumáticos dobles.- La distancia entre los centros de un neumático dual. Neumáticos dual típico espacio 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 la inflación en caliente es de 120 psi.

- Separación de los ejes.- La distancia entre los dos ejes consecutivos de un tándem, tridem o quad. La distancia entre ejes media es de 51,6 pulgadas tándem y de 49,2 pulgadas en el de tridem.

#### **3.3.2.14 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 elementos de datos son necesarios para describir los detalles de la distancia entre ejes de los vehículos para su uso en las respuestas del pavimento de computación. Estos elementos de datos pueden ser obtenidos directamente de las bases de datos del fabricante o medidos directamente en el campo. Los valores típicos son para cada uno de los siguientes elementos, sin embargo, el sitio específico de valores pueden ser utilizados, si está disponible.

La distancia entre ejes media.- 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.

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 la información más exacta está disponible.

#### **3.3.2.15 Procesamiento de entrada.-**

Las entradas de tráfico son procesados para producir la siguiente "entrada de procesado" para cada mes durante el período completo de diseño:

- Número de ejes simples en cada categoría de carga.
- Número de ejes tándem en cada categoría de carga.
- Número de ejes tridem en cada categoría de carga.

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

Los factores de tráfico de distribución 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.

### **3.3.3 PARÁMETRO 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 tablas de agua afectan a la temperatura del pavimento y el subsuelo y el contenido de humedad, lo que, a su vez, afecta directamente la capacidad de carga de las capas del pavimento y el rendimiento final del pavimento.

#### **3.3.3.1 Entradas climáticas.-**

La información relacionada con el clima requiere lo siguiente para realizar el diseño de pavimento rígido:

- 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.
- Cada hora los valores 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 el software de guía de diseño para dar una solución razonable.

### **3.3.3.2 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 hora de la distribución de temperatura 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 consolidados, / 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.

### **3.3.4 PARÁMETRO 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.

Cada una de estas categorías se describe en los apartados siguientes.

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

Estas son las propiedades generales de estructura de pavimento para el diseño. Información requerida en esta categoría incluye lo siguiente:

- Capacidad de absorción de onda corta de la superficie del pavimento.

- El potencial de infiltración.
- Pavimento cruz pendiente.
- Longitud de la vía de drenaje.

#### **3.3.4.1.1 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 de 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, el más ligero y más reflexiva de la superficie, menor es la capacidad de absorción de onda corta será. 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 pavimento nuevo.

#### **3.3.4.1.2 Infiltración.-**

Esta entrada cuantifica la cantidad de agua que se infiltra 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 diseño de pavimento flexible procedimiento no permite al diseñador elegir cualquier nivel de infiltración en este momento.

#### **3.3.4.2 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 la 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 1.25 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 0,28 BTU/lb- ° F.
- Unidad de peso total.- Peso por unidad de volumen, Valor típico del concreto es de: 150 lb/ft<sup>3</sup> (PCF).

#### **3.3.4.2.1 Sin consolidar la base / sub-base / subrasante.-**

Sin consolidar las capas base 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 de la Guía de software para su análisis. Para la capa de base (capa consolidados primero), la primer sub-capas 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 y 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 lecho de roca está presente, el subrasante restante es tratado 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 la capa (sólo para capas de base y sub-base).- Para las capas de sub-base si la 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 estrés no lineal dependiente del módulo resiliente de parámetros K1, K2 y K3. Cabe señalar que el nivel 1 de entrada exige el uso del código de elementos finitos no lineales para la

predicción de rendimiento que en la actualidad sólo se recomienda para ser usado con fines de investigación y análisis.

Para input del nivel 2.- El valor Módulo resiliente elástico lineal directa, como alternativa, el 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.

#### **3.3.4.2.2 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 el nivel 1 y 2 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 inputs 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, o PI y la gradación) 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  $N^\circ 4$  y  $N^\circ 200$  tamices, y el tamaño de grano efectivo correspondiente al pasar del 60% 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 sustituidos con entradas directas.

2. En lugar de usar la EICM, los módulos de temporada (ya sea K1, K2 y K3 para el nivel 1 de entrada o el Mr 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 Mr (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.

### **3.3.4.3 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 los pies por milla.

### **3.4 ANÁLISIS DEL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.-**

En esta sección se presenta una descripción detallada de la metodología de predicción de rendimiento general para los pavimentos rígidos nuevos y reconstruidos. El término "pavimento rígido" se refiere aquí a cualquier nuevo sistema, el pavimento reconstruido o rehabilitado que tiene una mezcla de concreto hidráulico de la superficie. La metodología utilizada se basa el diseño en mecánica-empírica enfoques para predecir una variedad de tipos de peligro:

- Fractura por fatiga (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 fallas encontradas en el asfalto de superficie pavimentos, es importante reconocer que no todas las cuestiones importantes 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 socorro no están directamente consideradas en la Guía.

Las predicciones de falla desarrollado a partir del enfoque mecanicista-empírico también están vinculados 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. Soluciones deterministas y basada en la fiabilidad se encuentran disponibles en la Guía.

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

Una amplia variedad de tipos de pavimento rígido puede ser diseñado utilizando los procedimientos de Guía.

Los tipos específicos de sistemas de pavimento rígido que se puede analizar son: (1) convencionales secciones rígidas, que consiste en la superficie HMA relativamente delgadas y gruesas capas de agregado base / sub-base, (2) "profunda fuerza" tramos de capas de concreto hidráulico, (3) de profundidad completa las secciones HMA, donde se coloca la capa de concreto hidráulico directamente sobre la sub-base, y (4) "semi-rígida" Sistemas que tienen la capa sub-base estabilizada químicamente (puzolánico).

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 la capa y la capa espesores de la sección de pavimento inicial para ser analizados.

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  $\mu$  (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 necesaria para el modelo de la deformación permanente no consolidados. 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 peligro. 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 (IRI), y la vida de diseño. A

criterio de desempeño así 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 falla (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. "

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

#### **3.4.2.1 Modelos de análisis.-**

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 rígidos son:

- Deformación permanente.
- 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 Guía de diseño se basa en un enfoque de daños adicionales, fallas o daños 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 el rendimiento.

Los modelos utilizados para la predicción de cada falla se describen con más detalle en las siguientes secciones.

#### **3.4.2.2 Deformación permanente.-**

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 ruedas acompañada de trastornos pequeños a los lados. La anchura 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 diseño del sitio.

En general, el ingeniero de diseño tiene que ver con la deformación total del pavimento estructura y 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, 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 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 impedida debido a que la superficie no es plana. En el perfil longitudinal deformaciones diferenciales y permanente debido a la variabilidad de materiales y / o la rugosidad de aumentar la construcción y reducir la capacidad de servicio global de 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 3.2 muestra las tres etapas, estas 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 muestran una tasa constante de cambio de deformación que también se asocia con cambios volumétricos, sin embargo, de cortas deformaciones 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

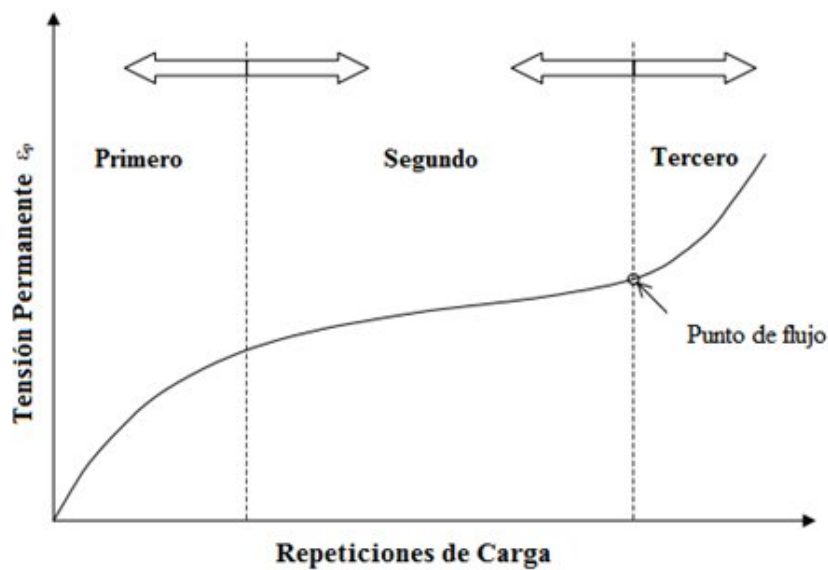


Figura 3.2 Carga repetida típica la conducta de la deformación permanente de materiales del pavimento

**Fuente: AASHTO 2008**

La Guía de diseño utiliza un enfoque de los modelos tanto de la primaria y secundaria etapas, con la etapa primaria el modelo utilizando una extrapolación de la etapa secundaria de tendencia. 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 lento, difícil de realizar, y la falta de una metodología de predicción de implementación. Sin embargo, los principales estudios de investigación actualmente en curso de forma analítica tratar este tipo de deformación. Se debe entender que las verdaderas deformaciones de corte no son el modelo en el sistema.

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 sub-capa, 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.

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

#### **3.4.2.3 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.

#### **3.4.2.4 Factores que afectan la deformación permanente.-**

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 la 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.
- Base tipo grosor de la 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.

#### **3.4.2.5 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 a la temperatura como función del tiempo y la profundidad.

Las condiciones ambientales son representadas 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 un 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 mismo, 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 aumentara en gran medida.

#### **3.4.2.6 La fiabilidad de deformación permanente.-**

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

$$RD_P = (RD_i) + \frac{Se_{RD_i}}{Z_p} * (3.1)$$

Donde:

RD<sub>P</sub> = Deformación previsto en el nivel de fiabilidad P, pulgadas

RD<sub>i</sub> = Deformación previsto basándose en las aportaciones medias (que corresponde al 50% de fiabilidad), pulgadas.

Se<sub>RD<sub>i</sub></sub> = Error estándar de deformación en el nivel previsto

Z<sub>p</sub> = Desviación normal estándar

i = Tipo de capa, HMA, base, subrasante

#### **3.4.2.7 Modificación de diseño para reducir la deformación permanente.-**

Si la deformación permanente prevista 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 medidas de rendimiento diferentes.

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.

#### **3.4.2.8 HMA capa de deformación permanente.-**

Si la fuente principal de deformación permanente se produce en la capa de asfalto HMA, un diseño más importante de consideración sería la 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 del 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. nominal máximo tamaño del agregado). Si esto se logra, será muy importante para asegurar que todas las otras fallas HMA relacionadas, tales como fractura por fatiga térmica y, no se incrementan hasta el punto en que supere sus propios criterios 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 una mala calidad de la mezcla HMA se está utilizando, lo que aumenta 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 de deformación permanente se incrementará. Por lo tanto, aumentando el espesor de una capa de HMA, de mala calidad, no proporcionará ningún beneficio para disminuir la profundidad de la deformación del pavimento.

Por último, si el ingeniero está convencido de que el diseño de la mezcla HMA es el adecuado, el aumento de el espesor de la capa de HMA puede ser evaluado para determinar en qué medida la potencial deformación HMA capa 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 benefician a la disminución de la profundidad del surco dejado en la capa sub-base y, en particular, la capa de subrasante.

#### **3.4.2.9 Agrietamiento por fatiga.-**

Carga asociada a la fisuración por fatiga es uno de los tipos de falla graves que se producen en los sistemas de pavimento rígido. La acción de las cargas de tráfico repetido provoca tensiones de tracción y de corte en las capas límite, que finalmente conducen a una pérdida

en la integridad estructural de una capa estabilizada. Repetición de carga o fatiga inicial con grietas en los puntos donde las tensiones de tracción crítico y subraya a ocurrir. 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 la deformación crítica es una función de la rigidez de la mezcla. Dado que la rigidez de una mezcla hidráulica 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 la causa de estas grietas se propagan a través de la capa límite entera. Propagación de las grietas en todo el espesor de la capa 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 en una pérdida significativa en la suavidad de causar una disminución en la manejabilidad del pavimento. Este fenómeno de la iniciación de fisuras y propagación 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 los últimos 3 a 4 décadas en la tecnología de pavimento, ha sido común suponer que la fisuración por fatiga normalmente se inicia en la parte superior de la capa de losa 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 en todo el mundo recientes también 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 desarrollados en la superficie y causado por las presiones de

contacto muy grande del neumático en los bordes del pavimento, junto con la alta edad (rígido) de la capa superficial.

La Guía de diseño utiliza un enfoque que 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 abajo hacia arriba grietas. 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.

#### **3.4.2.10 Factores que afectan el agrietamiento por fatiga en pavimentos rígidos.-**

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 la losa en la estructura del pavimento:

- HMA espesor de la capa.
- HMA capa de módulo dinámico.
- 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) debe ser evaluado por separado. La acumulación de fatiga grietas se define en esta guía se

determinó dar cuenta de los casos de la siguiente manera:

- Edad del pavimento.- Cambios en el módulo dinámico.
- 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 la capa de sub 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.
- Configuración de la carga.- En tandem único, tridem y quad.

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

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

Eje Tridem – 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 el alabeo de la losa y en consecuencia, en el módulo dinámico de mezclas de hormigón. 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 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 aumenta la rigidez. Esto dará como resultado (para todos los propósitos prácticos) poco o ningún daño a la fatiga se produce en la capa de HMA.

### 3.4.2.11 Espesor de losa y coeficiente de balasto en el fisuramiento de piel de cocodrilo.-

La relación se muestra en la Figura 3.3 ilustra un hecho fundamental muy importante con respecto a la distribución de las grietas de fatiga de cocodrilo para los sistemas de pavimento rígido. 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.

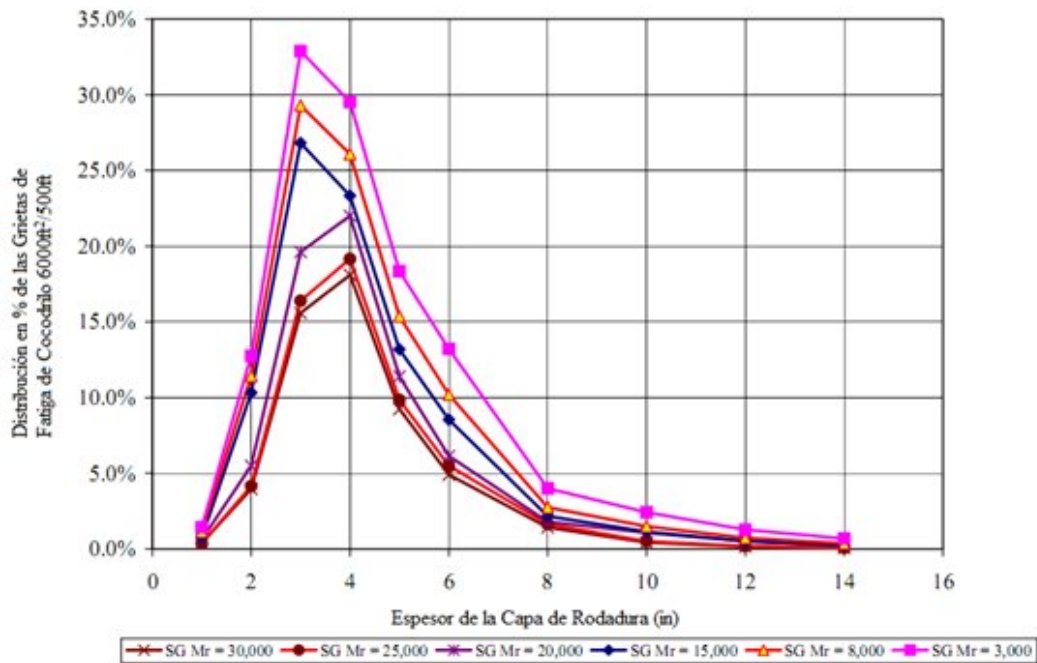


Figura 3.3 Efecto del espesor de la capa de rodadura en la distribución de grietas de piel de cocodrilo

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 losa.

Tal vez la conclusión fundamental más importante que puede extraerse de la figura es que por su buen desempeño, el espesor adecuado de la capa de losa debe ser lo más fina como práctico o tan grueso como sea posible.

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 losa más allá de 4 pulgadas, los esfuerzos de tracción generados en la parte inferior de la capa de losa se reducen con un espesor de losa en aumento.

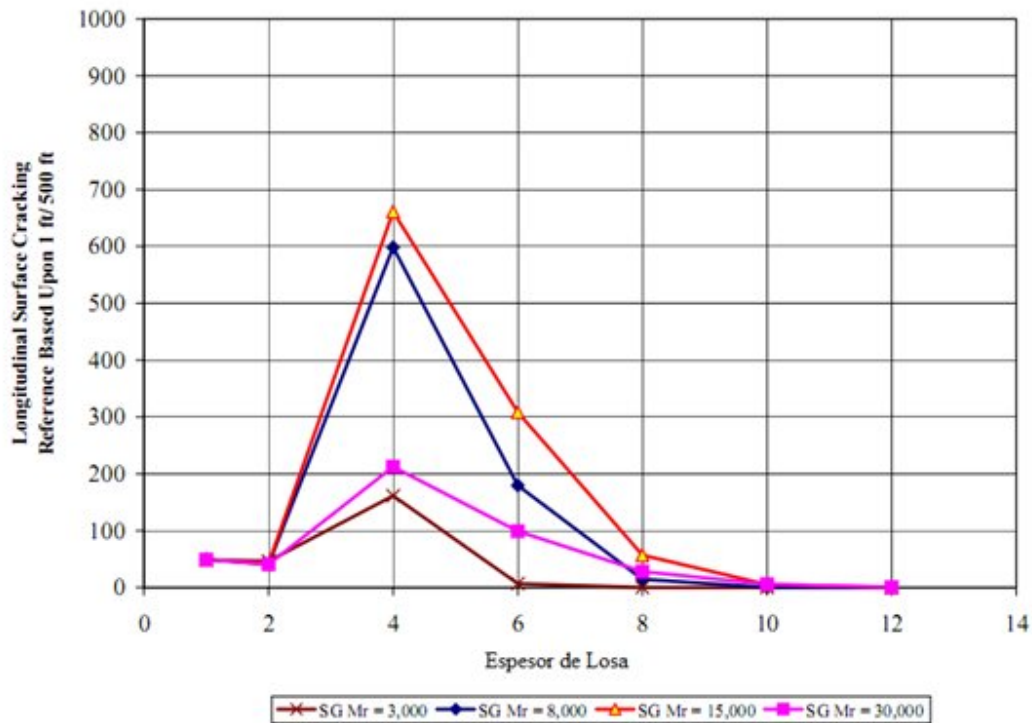
Por lo tanto, es lógico que a medida que el espesor de losa se incrementa más allá de una capa de 4 pulgadas, la resistencia a la fatiga está directamente aumentado debido a un valor de elongación más pequeño que ocurren en el sistema del pavimento. Sin embargo, el hecho realmente importante que hay que reconocer es que la magnitud de la deformación por tracción no necesariamente aumenta proporcionalmente a la disminución de espesor de losa. De hecho, como el espesor de losa se reduce por debajo del máximo, "nivel de formación de grietas de 3 - a 5-in ", los esfuerzos de tracción en realidad comienzan a disminuir y, de hecho, puede en realidad ser la compresión de la naturaleza. Así, en capas muy delgadas de losa, hay poca o ninguna resistencia a la tracción o deformaciones que se pueden encontrar en la parte inferior de la capa de la losa. Esto explica claramente por qué, el comportamiento de la fatiga puede mejorar con la disminución de los niveles de espesor de losa.

Aunque esto es cierto, el lector debe reconocer también que, aunque delgadas capas de losa no pueden tener importantes problemas de fatiga, otros tipos de dificultades importantes, en particular, las deformaciones de corte repetitivo, lo que lleva a la deformación permanente 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 losa 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 losa.

#### **3.4.2.12 Espesor losa y coeficiente de balasto en el fisuramiento Longitudinal.-**

Un estudio similar lo que indica la influencia del espesor de losa y coeficiente de balasto al agrietamiento longitudinal se muestra en la figura 3.4. Una comparación inmediata del efecto

del espesor de losa y agrietamiento de la superficie longitudinal muestran efectos similares, en comparación con el sufrimiento de grietas de cocodrilo. En general, los daños por fatiga son máximos del 3 al 5 en el nivel de espesor de losa. Por lo tanto, ambos modos de falla la fatiga son más grandes para el intermedio (3 a 5 pulgadas) de rango de espesor losa.



**Figura 3.4 Efecto del espesor de losa y agrietamiento de la superficie longitudinal**

**Fuente: AASHTO 2008**

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

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

- Tabular los datos de entrada.- Un resumen de todos los insumos necesarios para la predicción de formación de grietas.
- Los datos del proceso de tráfico.- Los datos de tráfico procesados tiene que ser procesados para determinar el número equivalente de eje simple, doble, y los ejes

tridem producido para todo el tráfico de carga – eje.

- Procesamiento de datos del perfil de temperatura del pavimento.- La temperatura del pavimento por hora perfiles generados usando EICM (distribución lineal) deben ser convertidos a la distribución de las diferencias de temperatura equivalente lineal por mes calendario.
- Proceso de los 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 correspondiente a cada de carga, nivel de carga, la posición de carga, y la diferencia de temperatura para cada mes dentro del período de diseño en la superficie y el fondo de cada capa del pavimento. Utilizando material de módulo y el coeficiente de Poisson, determinar las tensiones elásticas en cada punto de cálculo. Calcular el daño para cada sub-estación y la suma de determinar daño acumulado en cada capa de asfalto.
- Calcular agrietamiento por fatiga.- Calcular la formación de grietas para cada capa de los daños calculados.

#### **3.4.2.14 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 semi-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 de
- Tipo de eje.
- Temperatura - temperatura del pavimento para el módulo de losa dinámico.

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

La influencia global de la superficie longitudinal, por agrietamiento por fatiga, en función del espesor de losa, 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 losa entre 3 y 5 pulgadas. Mientras que la menor mezcla de aire y vacíos ( $V_a$ ) y una mayor cantidad de cemento ( $V_{beff}$ ) 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 mezclas de menor rigidez. Esto se debe directamente al hecho de que las grandes tensiones superficiales de tracción que se producen en esta menor rigidez de losa.

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 el 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 losa y asegurar que todos los tipos posibles dificultades potenciales se han optimizado (minimizado) 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 y 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, siempre se puede molar en las estrategias futuras rehabilitaciones. Sin embargo, si está presente grietas de cocodrilo, las posibilidades de llenar "losa de la capa de" daño para el total de losa capa (s) son bastante altos. Si este es el caso, es evidente que el traslado completo de la capa de losa o superposiciones de muy gruesa son la única opción de rehabilitación de preferencia.

#### **3.4.2.16 Fractura térmica (Agrietamiento 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 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 mejoradas para la conversión de datos en bruto del ensayo de tracción indirecta (IDT) en las propiedades fundamentales de la mezcla hidráulica, 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.

#### **3.4.2.17 Modelado de la respuesta estructural de agrietamiento térmico.-**

Los siguientes factores afectan la magnitud de la predicción de craqueo térmico en la losa:

- Temperatura y la profundidad en el perfil de la capa de losa.
- Fluencia de cumplimiento.
- El cumplimiento de la pérdida de temperatura de prueba.
- Resistencia a la tracción.
- Coeficiente Global de la contracción térmica.

- Mix coeficiente de contracción térmica.
- espesor de la capa.
- Burbujas de aire.

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 losa.- 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 losa 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 losa.
- Fluencia de cumplimiento.- Evaluado a temperaturas de 0, -10, y -20 ° C (32,14 y -4 ° F). Es el responsable lineal de las propiedades 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 lineales 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.

### **3.5 VALIDACIÓN DEL MÉTODO AASHTO 2008.-**

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 cambio de paradigma de los procedimientos existentes de diseño empírico (por ejemplo, AASHTO 1993), tanto 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 pavimento / subrasante estructura requiere los datos de entrada mucho más amplio para ejecutar este tipo de modelo (incluyendo las distribuciones de carga por eje, la caracterización del material mejorado, la construcción factores, y cada hora los datos climáticos 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 a la agencia de la carretera. Esto hará que el nuevo procedimiento de diseño mucho más capaz de producir diseños más confiables y rentables, incluso para las condiciones de diseño que se desvían significativamente de 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 de estatal 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 creadas secciones de prueba que fueron controlados 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 de muchos estados los organismos viales.

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

Claramente, la Guía de diseño de mecánica-empírica procedimiento 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 fatiga grietas, ninguna de las respuestas directas del pavimento (deflexión, el estrés o la tensión) se puede utilizar directamente para predecir la tasa de desarrollo de grietas debido a un complejo algoritmo es necesario para modelar el mecanismo de formación de grietas que produce "daños". Este daño debe ser correlacionado con grietas reales en el campo. Los mecanismos de angustia son mucho más complejo que puede ser prácticamente el modelo, por lo tanto, el uso de factores empíricos y calibración es necesario 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 rígido de diseño han sido calibrados con el diseño 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 calibrado 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 incluidos 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% de los datos. Los modelos fueron a continuación, "validados" con el 20% 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 rígidos 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.

### **3.5.2 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 el datos de rendimiento de la que se calibró el procedimiento. Sin embargo, esta es un procedimiento de diseño complejo y debe ser cuidadosamente evaluado por los organismos viales que deseen implementar. El siguiente es el recomendado de calibración / validación esfuerzo necesarios para aplicar la Guía de diseño para los pavimentos rígidos:

- 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.

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

Todas las entradas a la Guía de diseño de software debe ser revisado 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.

#### **3.5.4 Análisis de Sensibilidad.-**

Cada agencia debe llevar a cabo análisis de sensibilidad del procedimiento de nuevo diseño. Es a cabo mediante la selección de una situación de diseño típico con todas las entradas de diseño. El software se ejecuta y las fallas media y el IRI previsto, en el período de diseño. A continuación, cada las entradas son muy variadas, normalmente uno a la vez (a menos que dos o más se correlacionan y luego dos o más son muy variados al unísono, como ocurriría en la naturaleza) y el cambio en todas las salidas observado. Tablas

correspondientes y los predios son preparados y evaluados los resultados. Las entradas se pueden dividir en tres grupos, por ejemplo:

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

Realización de estudios comparativos de los diseños de la Guía de procedimiento con los de los existentes procedimientos. Seleccione las situaciones típicas de diseño (diseños anteriores sería lo ideal) y obtener las entradas para el diseño de la Guía de Diseño. Ejecute el software de Guía de Diseño y determinar la angustia y el IRI sobre el período de análisis. Evaluar la adecuación del diseño basado en los resultados y la experiencia desempeño de las agencias. Si existen deficiencias en el Predicciones, Guía de diseño, determinar las razones, si es posible.

### **3.5.5 De calibración a las condiciones locales (EEUU).-**

Los datos nacionales (EEUU) de calibración-validación del proceso se ha 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 nuevo diseño que es tan diferente de la actual procedimientos. Una base de datos de validación se debe desarrollar para confirmar que los nacionales factores de calibración o funciones sean adecuados y apropiados para la construcción, materiales, el clima, el tráfico, y otras condiciones que se encuentran dentro de los organismos de red de carreteras.

Preparar una base de datos de los datos de desempeño de las agencias y comparar el procedimiento de nuevo diseño resultados con el rendimiento de estos "locales" secciones. 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 predecir con precisión las dificultades del pavimento y la calidad de marcha a nivel nacional. Alguna de cualidades área geográfica, los ajustes a los modelos nacionales pueden ser necesarios para obtener información fiable diseño de pavimentos.

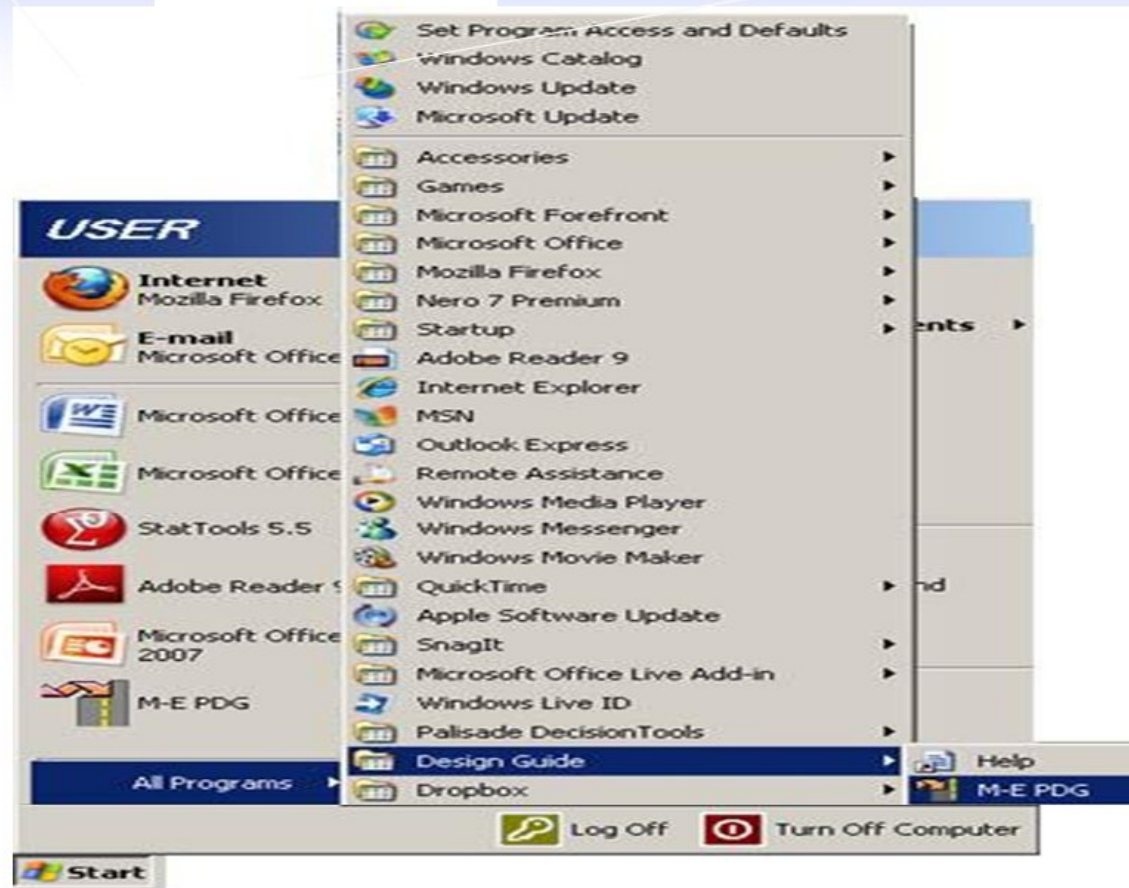
### **3.6 Programa Informático de AASTHO 2008.-**

### 3.6 Programa Informático de AASTHO 2008.-

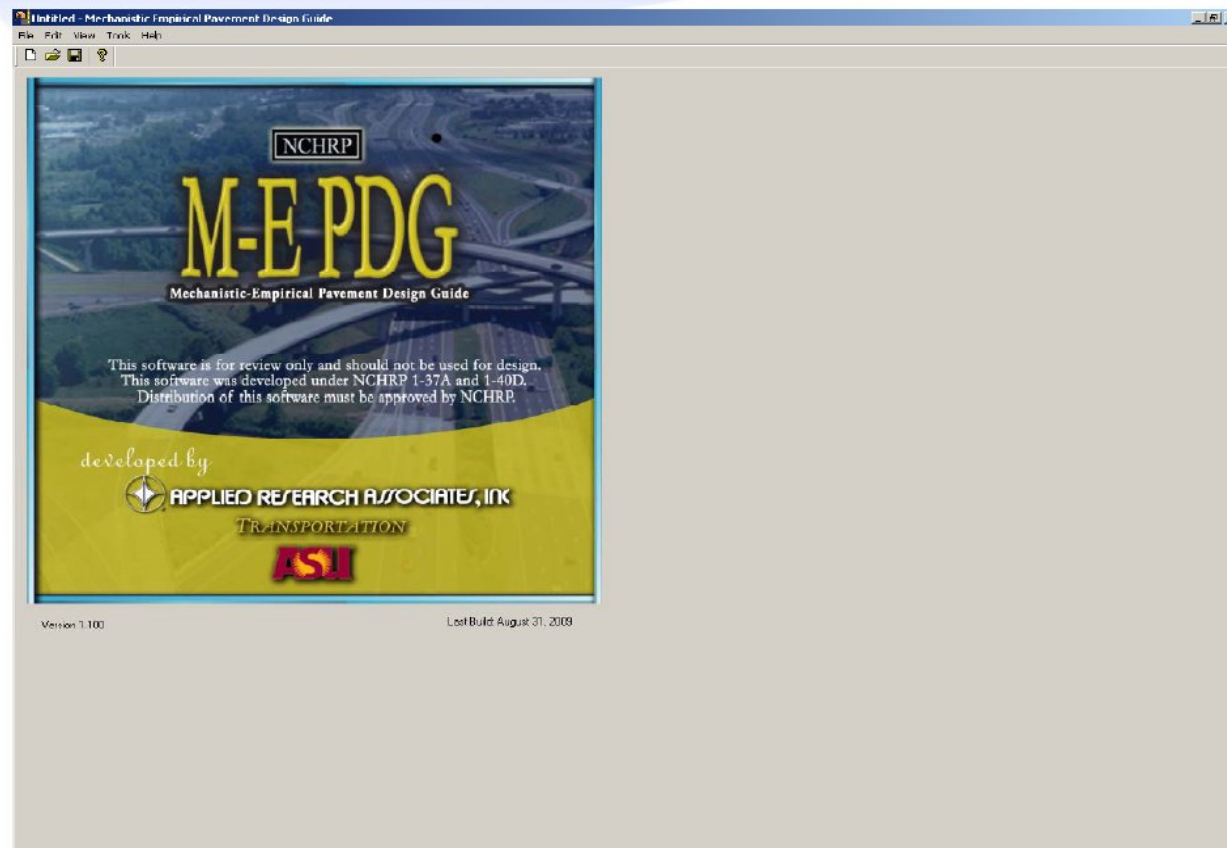
## MODULO 9

# SOFTWARE MEPDG PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE PAVIMENTOS RIGIDOS

# Abrir el programa desde el Menu de inicio de Windows.



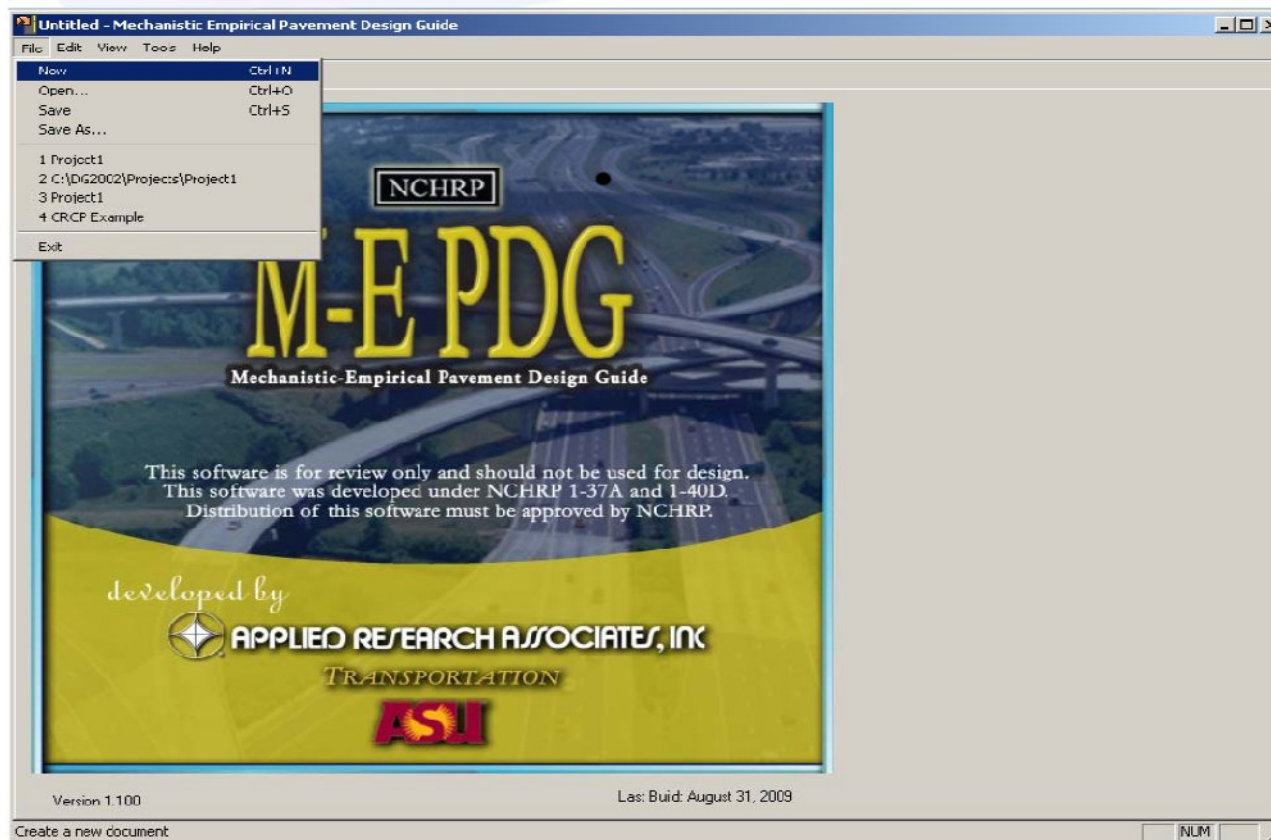
Se abre la pantalla de bienvenida en el software.



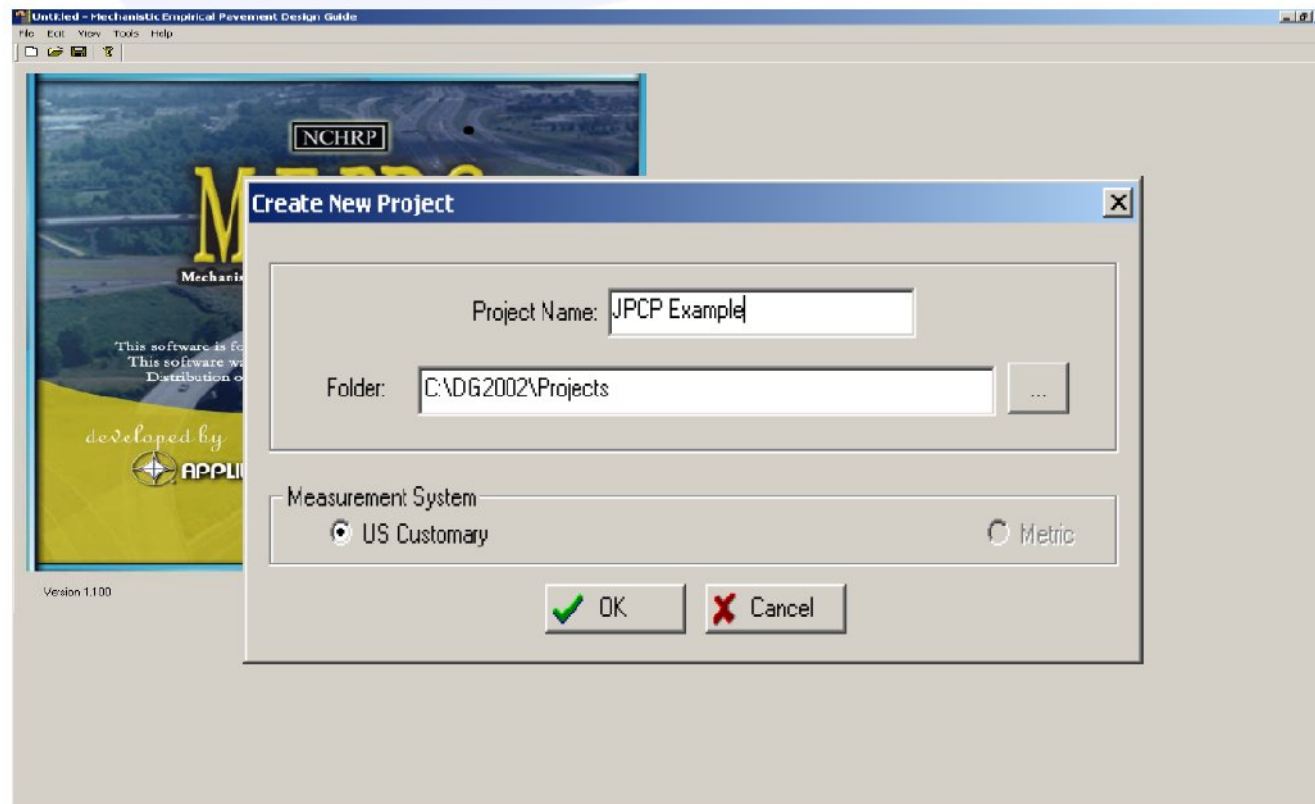
# Ejemplo para pavimento de concreto con juntas simple o "JPCP"



# Crear un nuevo archivo desde la pantalla principal



## Asignar un nombre al proyecto y seleccionar el sistema de medidas



# Ventana Principal del Programa

The screenshot shows the main window of the 'Mechanistic Empirical Pavement Design Guide' software. The interface is divided into several sections:

- General Information:** Located at the top left, containing a tree view with 'General Information', 'Site/Project Identification', and 'Analysis Parameters'. A callout bubble labeled 'Elementos de Entada Generales' points to this section.
- Inputs:** Located in the middle left, containing a tree view with 'Traffic', 'Climate', 'Structure', and 'Layers'. A callout bubble labeled 'Ingresos' points to this section.
- Results:** Located in the middle right, containing a tree view with 'Input Summary', 'Project', 'Traffic', 'Climatic', 'Design', 'Layer', and 'Output Summary'. A callout bubble labeled 'Resultados' points to this section.
- General Project Information:** A table on the right side of the window.
- Properties:** A table on the right side of the window.
- Run Analysis:** A button at the bottom right of the window.

Annotations include:

- A callout bubble labeled 'Elementos de Entada Generales' pointing to the 'General Information' section.
- A callout bubble labeled 'Ingresos' pointing to the 'Inputs' section.
- A callout bubble labeled 'Resultados' pointing to the 'Results' section.
- A callout bubble labeled 'Ejecutar Análisis' pointing to the 'Run Analysis' button.
- A text box on the right side of the window containing the text: 'Dar click sobre cada elemento para ingresar datos de entrada'.

Parameter	Value
Type	
Design Life	20 Years
Climate	
Construction Date	9/2006
Traffic Open Date	10/2006
Initial AADTT	

Setting	Value
Units	US Customary
Analysis Type	Probabilistic
Output Type	Excel Worksheet
Warnings	Enabled

For Help, press F1

# Opciones de ayuda

The screenshot displays a software interface with a 'General Information' window and a 'Help' window. The 'General Information' window includes fields for 'Project Name' (JPCP Example), 'Description', 'Design Life (years)' (25), 'Construction Month' (August), and 'Traffic open month' (September). It also features radio buttons for 'Type of Design': 'New Pavement' (Flexible Pavement), 'Restoration' (Jointed Plain Concrete Pavement), and 'Overlay' (Asphalt Concrete Overlay). A tooltip over the 'Design Life' field explains that it is the expected service life of the pavement. The 'Help' window shows a table of contents with 'General Information' selected, displaying text about design options and a list of three main categories: New design, Restoration, and Rehabilitation or Overlay.

**General Information**

Project Name: JPCP Example

Description:

Design Life (years): 25

Construction Month: August

Traffic open month: September

Type of Design

New Pavement

Flexible Pavement

Restoration

Jointed Plain Concrete Pavement

Overlay

Asphalt Concrete Overlay

Design Life (years) is the expected service life of the pavement. Pavement performance is predicted over the design life.

**Help**

Contents Index Search

- 2002 Design Guide
  - Introduction
  - Brief History
  - What's New?
- Getting Started
- Design Guide Software Overview
- Project
  - General Information**
  - Site Identification
  - Analysis Parameters
- Traffic
- Climate
- Structure
- User's Guide Online
- 2002 Design Guide Documents Online

### General Information

This screen allows the user to make broad choices about the design options. Note that the name assigned to the project appears on this screen. This screen required information regarding the project timeline and the nature of the project. The 2002 Design Guide considers two pavement types, "flexible" and "rigid" pavements. Pavements with an asphalt concrete (AC) surface are treated as flexible pavements while those with a portland cement concrete (PCC) surface are treated as rigid pavements. Rigid pavement design offers two alternatives for the surface layer, Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) and Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP). The choice of pavement type is critical in choosing the [distress types to be considered for predicting pavement performance](#).

All pavement design projects can be classified under three main categories as can be chosen on this screen:

- New design
- Restoration
- Rehabilitation or Overlay

New design or Reconstruction addresses cases when a brand new pavement is constructed beginning with subgrade preparation. Restoration option addresses cases when an existing JPCP is restored to improve its structural adequacy and ride quality for carrying additional traffic. Rehabilitation addresses cases when an existing pavement is overlaid with additional layers to improve its structural adequacy or ride quality for carrying additional traffic. The different overlay options available in the 2002 Design Guide for AC and PCC overlays are provided in the draw down menu.

# Información General

**General Information** [?] [X]

Project Name:

Description:

Design Life (years):

Base/Subgrade Construction Month:  Year:

Pavement Construction Month:  Year:

Traffic open month:  Year:

Type of Design

New Pavement

Flexible Pavement       Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP)       Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)

Restoration

Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP)

Overlay

Asphalt Concrete Overlay       PCC Overlay

OK       Cancel

# Identificación del Proyecto

**Site/Project Identification** [?] [X]

Location:	<input type="text" value="El Paso"/>
Project ID:	<input type="text" value="JPCP Design Example"/>
Section ID:	<input type="text" value="JPCP 1"/>
Date:	<input type="text" value="7/ 4/2010"/>

Station/milepost format:	<input type="text" value="Feet: 00 + 00"/>
Station/milepost begin:	<input type="text" value="00 + 00"/>
Station/milepost end:	<input type="text" value="05 + 00"/>
Traffic direction:	<input type="text" value="North bound"/>

# Parámetros de Análisis

**Analysis Parameters** [?] [X]

Project Name: JPCP Example

Initial IRI (in/mi): 63

Performance Criteria

Rigid Pavement |  Flexible Pavement

	Limit	Reliability
<input checked="" type="checkbox"/> Terminal IRI (in/mi)	252	95
<input checked="" type="checkbox"/> Transverse Cracking (% slabs cracked)	15	90
<input checked="" type="checkbox"/> Mean Joint Faulting (in)	0.15	90
<input type="checkbox"/> CRCP Existing Punchouts		
<input type="checkbox"/> Maximum CRCP Crack Width (in)		
<input type="checkbox"/> Minimum Crack Load Transfer Efficiency (LTE%)		
<input type="checkbox"/> Minimum Crack Spacing (ft)		
<input type="checkbox"/> Maximum Crack Spacing (ft)		

[OK] [Cancel]

## El Programa Indica el Progreso en el Ingreso de Datos

The screenshot displays the software interface for the Mechanistic Empirical Pavement Design Guide. The main window is titled "Untitled - Mechanistic Empirical Pavement Design Guide" and shows a project named "Project [C:\DG2002\Projects\JPCP Example.dgp]". The interface is divided into several sections:

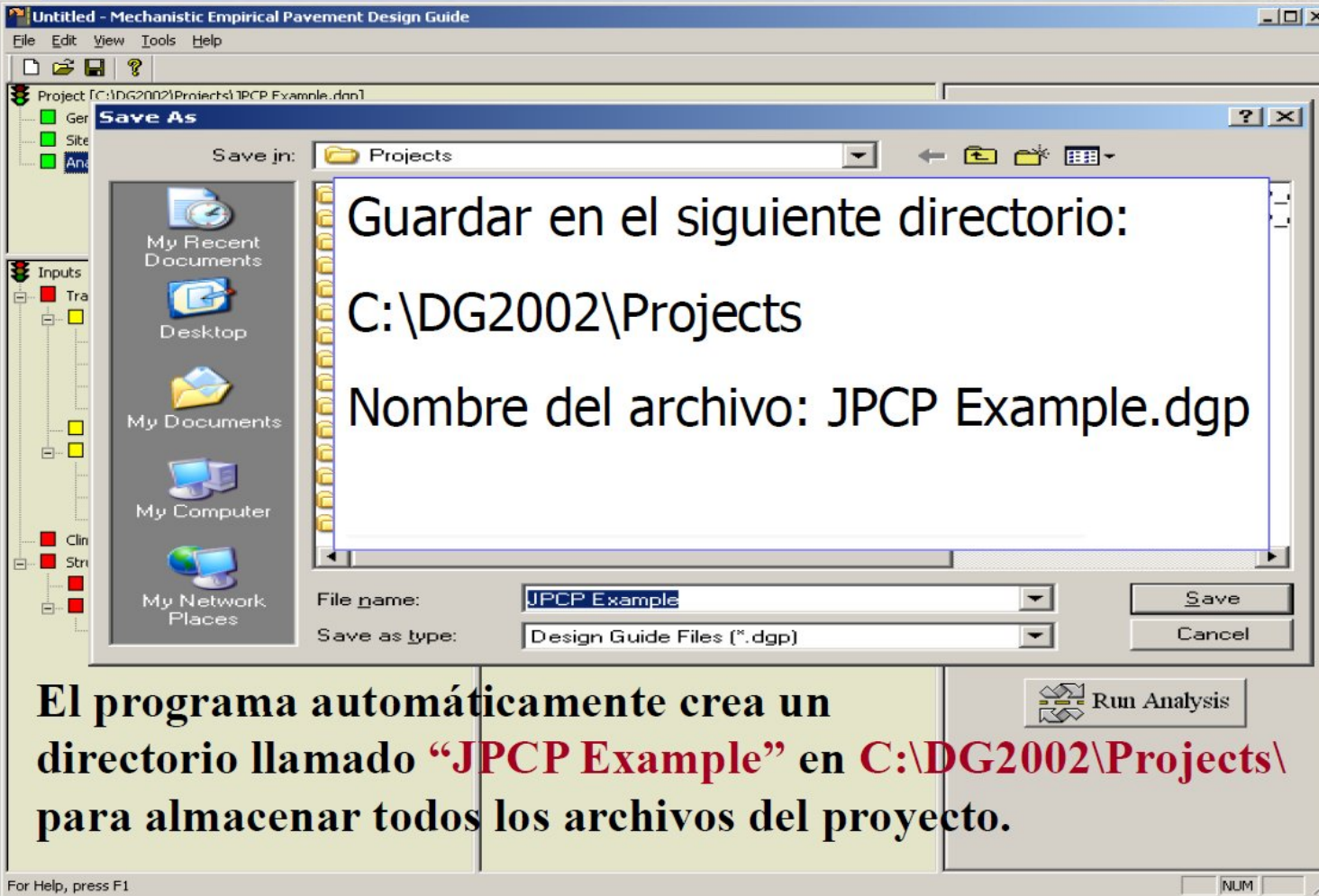
- Project Information:** Located at the top left, it lists "General Information", "Site/Project Identification", and "Analysis Parameters", all of which are marked with green icons, indicating they are complete.
- Inputs:** A tree view on the left side shows various input categories. "Traffic" is marked with a red icon, while "Climate", "Structure", "Design Features", and "Layers" are marked with red icons, indicating they are incomplete. "Layer 1 - JPCP" is marked with a yellow icon, indicating it is established by default.
- Results:** A tree view on the right side shows "Input Summary" (yellow icon), "Project", "Traffic", "Climatic", "Design", and "Layer" (all yellow icons), and "Output" (red icon).

Three callout boxes provide additional context:

- Top Callout:** "Los datos de entrada completos muestran iconos 'verdes'." (Complete input data shows 'green' icons).
- Middle Callout:** "Datos incompletos se muestran con iconos 'Rojos'." (Incomplete data is shown with 'Red' icons).
- Bottom Callout:** "Datos establecidos por default en el programa aparecen con iconos 'Amarillos'" (Data established by default in the program appears with 'Yellow' icons).

A "Run Analysis" button is visible at the bottom right of the interface.

# Guardar el archivo del proyecto



Guardar en el siguiente directorio:  
C:\DG2002\Projects  
Nombre del archivo: JPCP Example.dgp

El programa automáticamente crea un directorio llamado **“JPCP Example”** en **C:\DG2002\Projects\** para almacenar todos los archivos del proyecto.

Run Analysis

NUM

For Help, press F1

# Tráfico – Pantalla Principal

The screenshot shows the 'Traffic' software interface with the following fields and controls:

- Design Life (years): 25
- Opening Date: September, 2010
- Initial two-way AADTT: 2250 (highlighted with a blue oval)
- Number of lanes in design direction: 2
- Percent of trucks in design direction (%): 50.0
- Percent of trucks in design lane (%): 90.0
- Operational speed (mph): 60
- Traffic Volume Adjustment:  Edit
- Axle load distribution factor:  Edit
- General Traffic Inputs:  Edit
- Import/Export button
- Traffic Growth: Compound, 4%
- OK button (with green checkmark)
- Cancel button (with red X)

# Factor de Ajuste Mensual– Utilizar “Level 3 Default”.

**Traffic Volume Adjustment Factors**

Monthly Adjustment |  Vehicle Class Distribution |  Hourly Distribution |  Traffic Growth Factors

Load Monthly Adjustment Factors (MAF)

Level 1: Site Specific - MAF

Level 2: Regional - MAF

Level 3: Default MAF

Monthly Adjustment Factors











Month	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8
January	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
February	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
March	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
April	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
May	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
June	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
July	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
August	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
September	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
October	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
November	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

# Distribución de Clase de Vehículos

**Traffic Volume Adjustment Factors** [?] [X]

Monthly Adjustment    Vehicle Class Distribution    Hourly Distribution    Traffic Growth Factors

AADTT distribution by vehicle class

Class 4	<input type="text" value="2.4"/>	
Class 5	<input type="text" value="14.1"/>	
Class 6	<input type="text" value="4.5"/>	
Class 7	<input type="text" value="0.7"/>	
Class 8	<input type="text" value="7.9"/>	
Class 9	<input type="text" value="66.3"/>	
Class 10	<input type="text" value="1.4"/>	
Class 11	<input type="text" value="2.2"/>	
Class 12	<input type="text" value="0.3"/>	
Class 13	<input type="text" value="0.2"/>	
Total	<input type="text" value="100.0"/>	

Note: AADTT distribution must total 100%.

Load Default Distribution

Level 1: Site Specific Distribution

Level 2: Regional Distribution

Level 3: Default Distribution

OK    Cancel

Usar TTC 2  
para la  
distribucion  
(Load Default  
AADTT)

# Distribución de Clase de Vehículos

**Load Default AADTT** [?] [X]

Select general category:  AADTT distribution for the selected General Category:

\* = recommended value

	*	TTC	Bus %	Multi-Trailer %	Single-trailer and Single-unit(SU) Trucks	Vehicle Class	Percent(%)
<input type="checkbox"/>	*	5	(<2%)	(>10%)	Predominately Single-trailer trucks.	Class 4	2.4
<input type="checkbox"/>	*	8	(<2%)	(>10%)	"High percentage of single-trailer truck with some single-trailer trucks.	Class 5	14.1
<input type="checkbox"/>	*	11	(<2%)	(>10%)	Mixed truck traffic with a higher percentage of single-trailer trucks.	Class 6	4.5
<input type="checkbox"/>	*	13	(<2%)	(>10%)	Mixed truck traffic with about equal percentages of single-trailer trucks and single-unit trucks.	Class 7	0.7
<input type="checkbox"/>	*	16	(<2%)	(>10%)	Predominantly single-unit trucks.	Class 8	7.9
<input type="checkbox"/>	*	3	(<2%)	(2 - 10%)	Predominantly single-trailer trucks	Class 9	66.3
<input type="checkbox"/>		7	(<2%)	(2 - 10%)	Mixed truck traffic with a higher percentage of single-trailer trucks.	Class 10	1.4
<input type="checkbox"/>		10	(<2%)	(2 - 10%)	Mixed truck traffic with about equal percentages of single-trailer trucks and single-unit trucks.	Class 11	2.2
<input type="checkbox"/>		15	(<2%)	(2 - 10%)	Predominantly single-unit trucks.	Class 12	0.3
<input type="checkbox"/>	*	1	(>2%)	(<2%)	Predominantly single-trailer trucks	Class 13	0.2
<input checked="" type="checkbox"/>	*	2	(>2%)	(<2%)	"Predominantly single-trailer trucks with a low percentage of single-unit trucks.		
<input type="checkbox"/>	*	4	(>2%)	(<2%)	Predominantly single-trailer trucks with a low to moderate percentage of single-unit trucks.		
<input type="checkbox"/>		6	(>2%)	(<2%)	Mixed truck traffic with a higher percentage of single-unit trucks.		
<input type="checkbox"/>		9	(>2%)	(<2%)	Mixed truck traffic with about equal percentages of single-trailer trucks and single-unit trucks.		
<input type="checkbox"/>		12	(>2%)	(<2%)	Mixed truck traffic with a higher percentage of single-unit trucks.		
<input type="checkbox"/>		14	(>2%)	(<2%)	Predominantly single-unit trucks		
<input type="checkbox"/>		17	(>25%)	(<2%)	Mixed truck traffic with about equal single-unit and single-trailer trucks.		

OK Cancel

Usar TTC 2 como la distribución por "default"

# Distribución por Hora – Utilizar Default

**Traffic Volume Adjustment Factors** [?] [X]

Monthly Adjustment    Vehicle Class Distribution    Hourly Distribution    Traffic Growth Factors

Hourly truck traffic distribution by period beginning:

Midnight	<input type="text" value="2.3"/>	Noon	<input type="text" value="5.9"/>
1:00 am	<input type="text" value="2.3"/>	1:00 pm	<input type="text" value="5.9"/>
2:00 am	<input type="text" value="2.3"/>	2:00 pm	<input type="text" value="5.9"/>
3:00 am	<input type="text" value="2.3"/>	3:00 pm	<input type="text" value="5.9"/>
4:00 am	<input type="text" value="2.3"/>	4:00 pm	<input type="text" value="4.6"/>
5:00 am	<input type="text" value="2.3"/>	5:00 pm	<input type="text" value="4.6"/>
6:00 am	<input type="text" value="5.0"/>	6:00 pm	<input type="text" value="4.6"/>
7:00 am	<input type="text" value="5.0"/>	7:00 pm	<input type="text" value="4.6"/>
8:00 am	<input type="text" value="5.0"/>	8:00 pm	<input type="text" value="3.1"/>
9:00 am	<input type="text" value="5.0"/>	9:00 pm	<input type="text" value="3.1"/>
10:00 am	<input type="text" value="5.9"/>	10:00 pm	<input type="text" value="3.1"/>
11:00 am	<input type="text" value="5.9"/>	11:00 pm	<input type="text" value="3.1"/>

Note: The hourly distribution must total 100%

Total:

OK    Cancel

# Tasa de Crecimiento

**Traffic Volume Adjustment Factors**

Monthly Adjustment    Vehicle Class Distribution    Hourly Distribution    Traffic Growth Factors

Opening Date:

Design Life (years):

Vehicle-class specific traffic growth

AADTT:

% Traffic Design Direction:

% Traffic Design Lane:

Default Growth Function

No Growth

Linear Growth

Compound Growth

Default growth rate (%)

View Growth Plots

... factors are needed to view the effects of traffic growth.

OK    Cancel

**Tasa de crecimiento compuesta de 4%**

# Factores para la Distribución de Cargas por Eje – Nivel 3 por Default

**Axle Load Distribution Factors** [?] [X]

**Axle Load Distribution**

Level 1: Site Specific Export Axle File  
 Level 2: Regional [Dropdown]  
 Level 3: Default Open Axle File

**View**

Cumulative Distribution  
 Distribution View Plot

**Axle Types**

Single Axle  
 Tandem Axle  
 Tridem Axle  
 Quad Axle

**Axle Factors by Axle Type**

	Season	Veh. Class	Total	3000	4000	5000	6000	700
	January	4	100.00	1.8	0.96	2.91	3.99	6.8
	January	5	100.00	10.05	13.21	16.42	10.61	9.22
	January	6	100.00	2.47	1.78	3.45	3.95	6.7
	January	7	100.00	2.14	0.55	2.42	2.7	3.21
	January	8	100.00	11.65	5.37	7.84	6.99	7.99
	January	9	100.00	1.74	1.37	2.84	3.53	4.93
	January	10	100.00	3.64	1.24	2.36	3.38	5.18
	January	11	100.00	3.55	2.91	5.19	5.27	6.32
	January	12	100.00	6.68	2.29	4.87	5.86	5.97
	January	13	100.00	8.88	2.67	3.81	5.23	6.03
	February	4	100.00	1.8	0.96	2.91	3.99	6.8

OK Cancel

# Distancia del Eje al Borde y Número de Ejes por Camión

**General Traffic Inputs** [?] [X]

Lateral Traffic Wander

Mean wheel location (inches from the lane marking):

Traffic wander standard deviation (in):

Design lane width (ft): (Note: This is not slab width)

Number Axles/Truck |  Axle Configuration |  Wheelbase

	Single	Tandem	Tridem	Quad
Class 4	1.62	0.39	0	0
Class 5	2	0	0	0
Class 6	1.02	0.99	0	0
Class 7	1	0.26	0.83	0
Class 8	2.38	0.67	0	0
Class 9	1.13	1.93	0	0
Class 10	1.19	1.09	0.89	0
Class 11	4.29	0.26	0.06	0
Class 12	3.52	1.14	0.06	0
Class 13	2.15	2.13	0.35	0

OK  Cancel

# Configuración de Ejes – Default

**General Traffic Inputs** [?] [X]

Lateral Traffic Wander

Mean wheel location (inches from the lane marking): 18

Traffic wander standard deviation (in): 10

Design lane width (ft): (Note: This is not slab width) 12

Number Axles/Truck    Axle Configuration    Wheelbase

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions,ft): 8.5

Dual tire spacing (in): 12

Tire Pressure (psi): 120

Axle Spacing (in)

Tandem axle: 51.6

Tridem axle: 49.2

Quad axle: 49.2

[OK] [Cancel]

# Distancia Entre Ejes

**General Traffic Inputs** [?] [X]

Lateral Traffic Wander

Mean wheel location (inches from the lane marking):

Traffic wander standard deviation (in):

Design lane width (ft): (Note: This is not slab width)

Number Axles/Truck |  Axle Configuration |  Wheelbase

Wheelbase distribution information for JPCP top-down cracking. The wheelbase refers to the spacing between the steering and the first device axle of the truck-tractors or heavy single units.

	Short	Medium	Long
Average Axle Spacing (ft)	<input type="text" value="12"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="18"/>
Percent of trucks (%)	<input type="text" value="2.0"/>	<input type="text" value="20.0"/>	<input type="text" value="78.0"/>

OK  Cancel

# Verificar el Estado del Ingreso de Datos en la Pantalla Principal

Project [C:\DG2002\Projects\Project1.dgp]

- General Information
- Site/Project Identification
- Analysis Parameters

**Inputs**

- Traffic
  - Traffic Volume Adjustment Factors
    - Monthly Adjustment
    - Vehicle Class Distribution
    - Hourly Truck Distribution
    - Traffic Growth Factor
  - Axle Load Distribution Factors
  - General Traffic Inputs**
    - Number Axles/Truck
    - Axle Configuration
    - Wheelbase
- Climate
- Structure
  - Design Features
  - Drainage and Surface Properties
  - Layers
    - Layer 1 - CRCP

**Results**

- Input Summary
  - Project
  - Traffic
  - Climatic
  - Design
  - Layer
- Output Summary
  - CRCP Summary
  - Punchouts (plot)
  - IRI (plot)
  - Crack Width (plot)
  - LTE (plot)

**Analysis Status:**

Analysis	% Comple
Traffic	0%
Climatic	0%
Modulus	0%
Punchout CRCP	0%
Summary	0%

**General Project Information:**

Parameter	Value
Type	New CRCP
Design Life	20 Years
Location	

**Properties**

Setting	Value
Units	US Customary
Analysis Type	Deterministic
Default Input	Level 3

**Run Analysis**

For Help, press F1

NUM

**Comenzar con clima**

# Generar Archivo de Clima

**Environment/Climatic** [?] [X]

Current climatic data file: J:\MEPDG-MinPaver\MEPDG-PRJCTS\Project1\Climatic Data\EI Paso.icm

Import previously generated climatic data file.

Generate new climatic data file

Latitude (degrees.minutes)

Longitude (degrees.minutes)

Elevation (ft)

Seasonal

Depth of water table (ft)	
Annual average	55

Note: Ground water table depth is a positive number measured from the pavement surface.

# Ingresos para Clima

Environment/Climatic

Climatic data for a specific weather station.  
 Interpolate climatic data for given location.

**Paso 1**

Latitude (degrees.minutes): 31.49  
Longitude (degrees.minutes): -106.23  
Elevation (ft): 3945

Seasonal

**Depth of water table (ft)**

Annual average	
----------------	--

Note: Ground water table depth is a positive number measured from the pavement surface.

Select weather station

- DALHART, TX
- DALLAS, TX
- DALLAS, TX
- DALLAS-FORT WORTH, TX
- DEL RIO, TX
- DENTON, TX
- EL PASO, TX**
- FORT STOCKTON, TX
- FORT WORTH, TX
- FORT WORTH, TX
- GALVESTON, TX
- GUADALUPE PASS, TX

**Paso 2**

**Paso 3**

Station Location:  
EL PASO INTERNATIONAL ARPT  
Months of available data:116  
Months missing in file:0

# Diseño Preliminar

- El usuario debe proponer un diseño preliminar
- Para este ejemplo utilizar:
  - PCC (Concreto de Cemento Portland)
    - Capa de 10" pulgadas en espesor
  - Capa estabilizada con cemento
    - Capa de 4" pulgadas
  - Base de piedra granular triturada
    - 6" pulgadas de espesor
  - Subrasante A-6 (AASHTO)

## Diseño de Prueba – Propiedades del JPCP

- Losa de 15 ´ pies de largo.
- Pasa-juntas de 1" pulgada de diámetro para las juntas transversales.
- Espacio de 12" pulgadas entre cada pasa-juntas.
- No habrá "dowels" o pasa-juntas entre juntas longitudinales.
- Drenaje al borde de la berma.

# Características de Diseño para JPCP

The image shows a software dialog box titled "JPCP Design Features". It contains several sections with various input fields and checkboxes. Two red boxes highlight the top section (Slab thickness and Permanent curl/warp effective temperature difference) and the Joint Design section (Joint spacing, Sealant type, and Random joint spacing). Two blue boxes highlight the Doweled transverse joints section (Dowel diameter and Dowel bar spacing) and the Base Properties section (Base type, PCC-Base Interface, Erodibility index, and Loss of full friction).

**JPCP Design Features**

Slab thickness (in): 10 Permanent curl/warp effective temperature difference (°F): -10

Joint Design

Joint spacing (ft): 15 Sealant type: Other(Including No Sealant, Liquid, Silicone)

Random joint spacing(ft):

Doweled transverse joints Dowel diameter (in): 1 Dowel bar spacing (in): 12

Edge Support

Tied PCC shoulder Long-term LTE(%):

Widened slab Slab width(ft):

Base Properties

Base type: Cement treated

PCC-Base Interface

Full friction contact Erodibility index: Very Erosion Resistant (2)

Zero friction contact Loss of full friction (age in months): 60

OK Cancel

# Agregar Capas

Structure ✕

Surface short-wave absorptivity:

Layers

Layer	Type	Material	Thickness (in)
1	PCC	JPCP	10.0

Opening Date:  Design Life (years):

## Agregar Capa 2 : Estabilizada con Cemento

Structure

Surface short-way

Layers

Layer	
1	PO

Insert

Opening Date:

**Insert Layer After**

Insert after: Layer 1 - PCC

Material Type: Stabilized Base

Material: Cement Stabilized

Layer Thickness

Thickness (in) 4  Last layer

OK Cancel

Edit Cancel

# Agregar Otras Capas

Structure

Surface short-wave absorptivity:

Layers

Layer	Type	Material	Thickness (in)
1	PCC	JPCP	10.0
2	Chemically Stabilized	Cement Stabilized	4.0

Opening Date:  Design Life (years):

# Agregar Capa 3: Base de Piedra Triturada

Structure

Surface short-way

Layers

Layer	
1	PC
2	Ch

Insert

Opening Date:

**Insert Layer After**

Insert after: Layer 2 - Chemically Stabilized

Material Type: Granular Base

Material: Crushed stone

Layer Thickness

Thickness (in) 6  Last layer

OK Cancel

Thickness (in)

Edit

Cancel

# Agregar Capas – Después de la Capa 3

Structure

Surface short-wave absorptivity:

Layers

Layer	Type	Material	Thickness (in)
1	PCC	JPCP	10.0
2	Chemically Stabilized	Cement Stabilized	4.0
3	Granular Base	Crushed stone	6.0

Opening Date:  Design Life (years):

# Agregar Capas – Agregar Capa 4: Subrasante

Structure

Surface short-way

Layers

Layer	
1	PCC
2	Che
3	Gra

Insert

Opening Date:

**Insert Layer After**

Insert after: Layer 3 - Granular Base

Material Type: Subgrade

Material: A-6

Layer Thickness

Thickness (in)   Last layer

OK Cancel

Edit

Cancel

Structure X

Surface short-wave absorptivity:

Layers

Layer	Type	Material	Thickness (in)
1	PCC	JPCP	10.0
2	Chemically Stabilized	Cement Stabilized	4.0
3	Granular Base	Crushed stone	6.0
4	Subgrade	A-6	Semi-infinite

Opening Date: 
 Design Life (years):

# Pantalla Principal Después de Insertar Todas las Capas

The screenshot displays the main interface of the 'Mechanistic Empirical Pavement Design Guide' software. The window title is 'Untitled - Mechanistic Empirical Pavement Design Guide'. The interface is divided into several sections:

- Project Information:** Located at the top left, showing the project path [C:\DG2002\Projects\Project1.dgp] and a tree view with 'General Information', 'Site/Project Identification', and 'Analysis Parameters'.
- Inputs:** A tree view on the left side containing:
  - Traffic: Traffic Volume Adjustment Factors (Monthly Adjustment, Vehicle Class Distribution, Hourly Truck Distribution, Traffic Growth Factor), Axle Load Distribution Factors, General Traffic Inputs (Number Axles/Truck, Axle Configuration, Wheelbase).
  - Climate
  - Structure: Design Features, Layers (Layer 1 - JPCP, Layer 2 - Cement Stabilized, Layer 3 - Crushed stone, Layer 4 - A-6).
- Results:** A tree view on the right side showing:
  - Input Summary: Project, Traffic, Climatic, Design, Layer.
  - Output Summary: JPCP Summary, Faulting Summary, Faulting (plot), I TF (plot), Cracking Summary, Cumulative Damage (plot), Cracking (plot), IRI (plot).
- Analysis Status:** A table in the top right corner showing the completion percentage for various analysis steps:
 

Analysis	% Complete
Traffic	0%
Climatic	0%
Modulus	0%
Faulting JPCP	0%
Cracking JPCP	0%
Summary	0%
- General Project Information:** A table in the middle right showing project details:
 

Parameter	Value
Type	New JPCP
Design Life	20 Years
Climate	C:\Documents and Settings...
Construction Date	9/2006
Traffic Open Date	10/2006
Initial AADTT	1500
- Properties:** A table at the bottom right showing software settings:
 

Setting	Value
Units	US Customary
Analysis Type	Probabilistic
Output Type	Excel Worksheet
Warnings	Enabled
- Run Analysis:** A large button with a play icon and the text 'Run Analysis' is located at the bottom right.
- Footer:** At the bottom left, it says 'For Help, press F1'. At the bottom right, there are keyboard shortcuts 'NUM' and 'SCRL'.

# Propiedades Generales y Térmicas del Concreto

PCC Material Properties - Layer #1

Thermal |  Mix |  Strength

General Properties

PCC material: JPCP

Layer thickness (in): 10

Unit weight (pcf): 145

Poisson's ratio: 0.20

Thermal Properties

Coefficient of thermal expansion (per  $F^{\circ} \times 10^{-6}$ ): 6.3

Thermal conductivity (BTU/hr-ft-F $^{\circ}$ ): 1.25

Heat capacity (BTU/lb-F $^{\circ}$ ): 0.28

OK Cancel

Propiedades Generales

Propiedades Térmicas

# Mezcla de Concreto y Propiedades de Contracción

PCC Material Properties - Layer #1

Thermal  Mix  Strength

Cement type: Type I

Cementitious material content (lb/yd<sup>3</sup>): 565

Water/cement ratio: 0.402

Aggregate type: Dolomite

PCC zero-stress temperature (F°) 114

Ultimate shrinkage at 40% R.H (microstrain) 545

Reversible shrinkage (% of ultimate shrinkage): 50

Time to develop 50% of ultimate shrinkage (days): 35

Curing method: Curing compound

OK Cancel

The image shows a software dialog box titled "PCC Material Properties - Layer #1". It has three tabs: "Thermal", "Mix", and "Strength", all of which are selected. The dialog is divided into two main sections. The top section contains fields for "Cement type" (Type I), "Cementitious material content (lb/yd^3)" (565), "Water/cement ratio" (0.402), "Aggregate type" (Dolomite), and "PCC zero-stress temperature (F°)" (114). The bottom section contains fields for "Ultimate shrinkage at 40% R.H (microstrain)" (545), "Reversible shrinkage (% of ultimate shrinkage)" (50), "Time to develop 50% of ultimate shrinkage (days)" (35), and "Curing method" (Curing compound). A blue circle highlights the "Cement type", "Cementitious material content", "Water/cement ratio", and "Aggregate type" fields. A red circle highlights the "Ultimate shrinkage at 40% R.H", "Reversible shrinkage", "Time to develop 50% of ultimate shrinkage", and "Curing method" fields. At the bottom, there are "OK" and "Cancel" buttons.

# Propiedades de Resistencia del PCC— Datos de Entrada de Nivel 1

PCC Material Properties - Layer #1

Thermal  Mix  Strength

Input Level

Level 1  
 Level 2  
 Level 3

Time	E (psi)	MR (psi)
7 Day	4553550	777
14 Day	4760907	813
28 Day	4954161	846
90 Day	5248021	896
20 Year/28 Day	1.2	1.2

OK  Cancel

# Capa de Base Estabilizada

**Chemically Stabilized Material - Layer #2** [?] [X]

**General Properties**

Material type:

Layer thickness (in):

Unit weight (pcf):

Poisson's ratio:

**Strength Properties**

Elastic/resilient modulus (psi):

Minimum elastic/resilient modulus (psi):

Modulus of rupture (psi):

**Thermal Properties**

Thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°):

Heat capacity (BTU/lb-F°):

# Base – Propiedades de Resistencia de la Capa sin Consolidar

Unbound Layer - Layer #3

Unbound Material:  Thickness(in):   Last layer

Strength Properties  ICM

Input Level:

Level 1:  
 Level 2:  
 Level 3:

Poisson's ratio:

Coefficient of lateral pressure,  $K_o$ :

Analysis Type:

ICM Calculated Modulus:

ICM Inputs

User Input Modulus:

Seasonal input (design value)  
 Representative value (design value)

Material Property:

Modulus (psi)  
 CBR  
 R-Value  
 Layer Coefficient -  $a_i$   
 Penetration DCP (m)  
 Based upon PI and Gradation

Modulus (input) (psi):

# Base – Propiedades de Resistencia de la Capa sin Consolidar

Unbound Layer - Layer #3

Unbound Material:  Thickness(in):   Last layer

Strength Properties  ICM

Range  Mean

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	8.7
#100	
#80	12.9
#60	
#50	
#40	20.0
#30	
#20	
#16	
#10	33.8
#8	
#4	44.7
3/8"	57.2
1/2"	63.1
3/4"	72.7
1"	78.8
1 1/2"	85.8
2"	91.6
2 1/2"	
3"	
3 1/2"	97.6

Plasticity Index (PI)

Liquid Limit (LL)

Compacted Layer  No

Index Properties from Sieve Analysis

% Passing #200	8.7
% Passing #40	20.0
% Passing #4	44.7
D10 (mm)	0.1035
D20 (mm)	0.425
D30 (mm)	1.306
D60 (mm)	10.82
D90 (mm)	46.19

User Overridable Index Properties

Maximum Dry Unit Weight(pcf)	<input type="checkbox"/> 127.2
Specific Gravity, Gs	<input type="checkbox"/> 2.70
Sat. Hydraulic Conductivity(ft/hr)	<input type="checkbox"/> 0.051
Optimum gravimetric water content(%)	<input type="checkbox"/> 7.4
Degree of Saturation at Optimum(%)	61.2

User Overridable Soil Water Characteristic Curve

af	<input type="checkbox"/> 7.255
bf	<input type="checkbox"/> 1.333
cf	<input type="checkbox"/> 0.8242
hr	<input type="checkbox"/> 117.4

# Capa del Subrasante – Propiedades de Resistencia

The screenshot shows the 'Unbound Layer - Layer #4' dialog box. The 'Unbound Material' is set to 'A-6'. The 'Thickness(in)' field is empty, and the 'Last layer' checkbox is checked. The 'Strength Properties' and 'ICM' checkboxes are also checked. Under 'Input Level', 'Level 3' is selected. Under 'Analysis Type', 'ICM Calculated Modulus' is selected, and 'ICM Inputs' is chosen under 'User Input Modulus'. 'Poisson's ratio' is 0.35 and 'Coefficient of lateral pressure, K<sub>o</sub>' is 0.5. Under 'Material Property', 'Modulus (psi)' is selected. The 'Modulus (input) (psi)' field contains the value 18000. Buttons for 'View Equation', 'Calculate >>', 'AASHTO Classification', and 'Unified Classification' are present. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

# Capa de Subrasante – Propiedades de la capa sin consolidar MCI

Unbound Layer - Layer #4

Unbound Material: A-6 Thickness(in):   Last layer

Strength Properties  ICM

Range  Mean

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	63.2
#100	
#80	73.5
#60	
#50	
#40	82.4
#30	
#20	
#16	
#10	90.2
#8	
#4	95
3/8"	96.4
1/2"	97.4
3/4"	98.4
1"	99.0
1 1/2"	99.5
2"	99.8
2 1/2"	
3"	
3 1/2"	100.0

Plasticity Index (PI)

Liquid Limit (LL)

Compacted Layer  No

Index Properties from Sieve Analysis

% Passing #200	63.2
% Passing #40	0.0
% Passing #4	95.0
D10 (mm)	0.000285
D20 (mm)	0.000812
D30 (mm)	0.002316
D60 (mm)	0.05364
D90 (mm)	1.922

User Overridable Index Properties

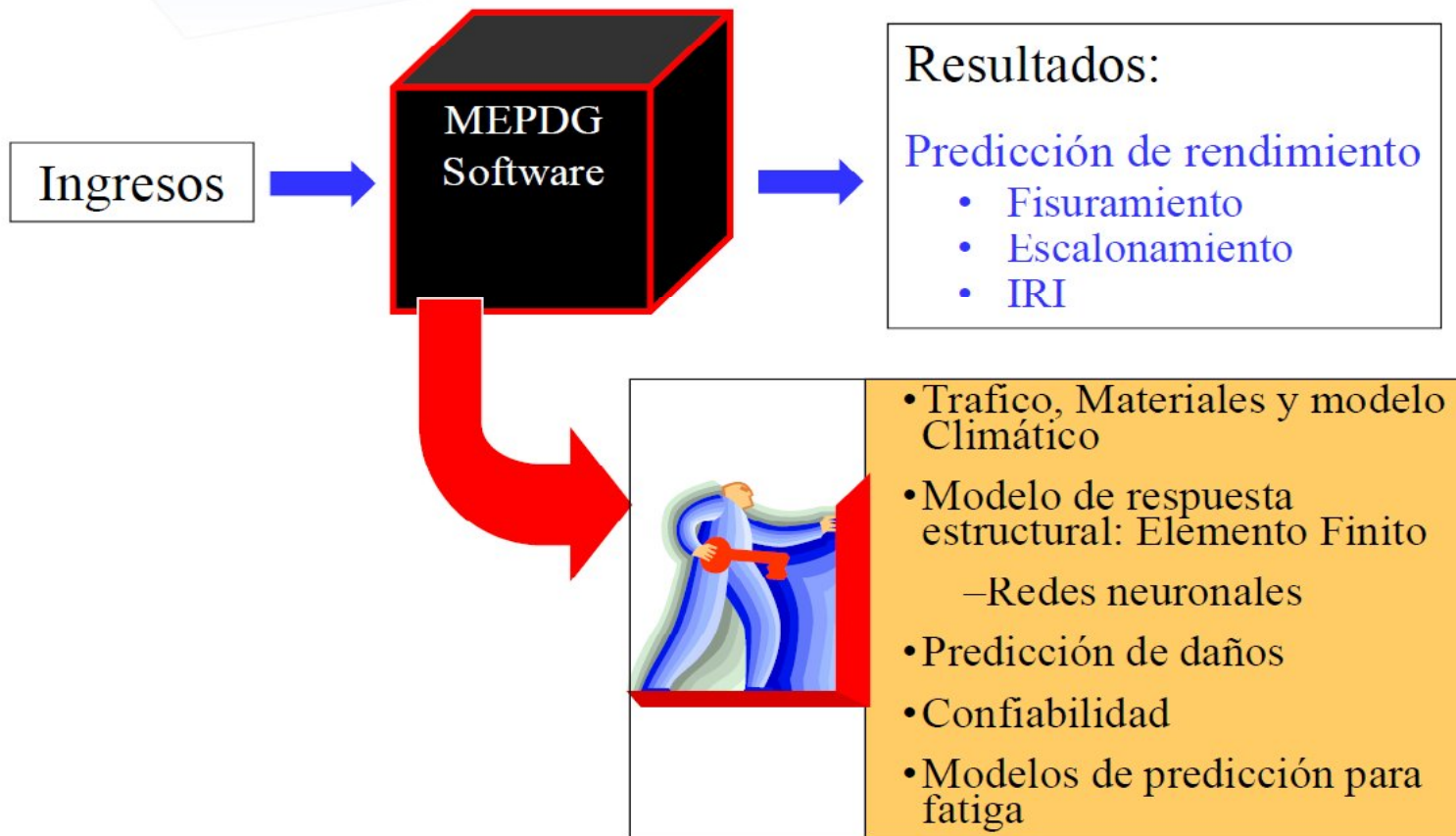
Maximum Dry Unit Weight(pcf)	<input type="checkbox"/> 104.2
Specific Gravity, Gs	<input type="checkbox"/> 2.70
Sat. Hydraulic Conductivity(ft/hr)	<input type="checkbox"/> 5.7e-007
Optimum gravimetric water content(%)	<input type="checkbox"/> 18.9
Degree of Saturation at Optimum(%)	<input type="checkbox"/> 82.9

User Overridable Soil Water Characteristic Curve

af	<input type="checkbox"/> 123.1
bf	<input type="checkbox"/> 0.59
cf	<input type="checkbox"/> 0.12
hr	<input type="checkbox"/> 500



# Procedimiento de Diseño MEPDG para JPCP



**CAPÍTULO IV**  
**APLICACIÓN DE LA PRÁCTICA AL PAVIMENTO RÍGIDO**  
**CAMPO PAJOSO - CARAPARI**

**4.1.- GENERALIDADES.-**

El Diseño Geométrico del Tramo Asfaltado Campo Pajoso – Caraparí, fue elaborado sobre la base del Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SNC, 1990) de manera que ofrezca condiciones de seguridad, comodidad y economía a los usuarios.

El Proyecto Campo Pajoso – Caraparí, con una longitud aproximada de 20.13 km, se inicia 12 km al norte de la ciudad de Yacuiba, en la localidad de Campo Pajoso, y termina en la población de Carpari.

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD (km)</b>
Campo Pajoso – Caraparí	20.13

Las zonas que atraviesa la carretera son en general de topografía montañosa, con presencia de serranías de dirección norte-sur. El eje del diseño atraviesa los valles existentes entre dichas serranías. Como resultado de lo indicado, una gran parte del trazado se encuentra en terreno plano y ondulado, con dos sectores en topografía montañosa.

El detalle de sectores topográficos es el siguiente:

<b>TRAMO</b>	<b>TOPOGRAFÍA</b>	
<b>PROGRESIVAS</b> Campo Pajoso – Caraparí	Plana	De 0+000 a 2+420
	Ondulada	De 2+420 a 5+260
		De 17+000 a 20+000
	Montañosa	De 5+260 a 17+000

## **4.2 VARIABLES DE DISEÑO.-**

En el diseño de pavimentos se involucran una serie de variables de distinto origen, estas variables intentan reproducir de mejor manera las condiciones reales y de funcionamiento a las que se verán sometidos los pavimentos durante su vida útil, de tal forma tenemos variables provenientes del tráfico que circulará por la carretera, variables que dependen de las características mecánicas del hormigón a emplearse, variables que están en función de las condiciones climatológicas de la zona de emplazamiento del proyecto y variables que dependen de las características de las capas inferiores del paquete estructural.

### **4. 2. 1 TRÁFICO.-**

La determinación del tráfico que circulará por la carretera es de gran importancia para el diseño, ya que con esta variable se determina el tipo de carga que se aplicará al pavimento. Para ello se han realizado aforos de tránsito en las estaciones de Campo Pajoso y Cruce a San Alberto. Estos aforos y encuestas tuvieron una duración de diez días durante las 24 horas del día.

El siguiente cuadro nos muestra la composición vehicular de las dos estaciones mencionadas.

Tabla N° 4.1  
Tramo Vial: Campo Pajoso - Caraparí  
Composición Vehicular Promedio por Estación

ESTACIÓN	LIVIANOS		BUSES			CAMIONES				OTROS	TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Automóviles Vagonetas Jeeps	Camionetas Minibuses	Microbuses hasta 21 pasajeros	Medianos 22 a 36 pasajeros	Grandes mayor a 36 pasajeros	Pequeños Ejes Simples Máximo 6 ruedas	Medianos Ejes Simples Máximo 6 ruedas	Grandes Ejes Tandem Mínimo 10 ruedas Ríg. o Art.	Pesados Ejes Tridem Mínimo 12 ruedas Articulados	Maq. pesada Cosechadores Tractores y otros	
CAMPO PAJOSO	141 43.2%	106 32.5%	9 2.6%	1 0.3%	14 4.2%	21 6.4%	9 2.6%	23 7.1%	3 1.0%	0 0.1%	326 100.0%
SAN ALBERTO	216 45.2%	142 29.7%	30 6.3%	9 1.9%	11 2.2%	16 3.2%	18 3.7%	29 6.1%	8 1.7%	1 0.1%	479 100.0%
PROMEDIO	178 44.3%	124 31%	19 4.8%	5 1.2%	12 3.1%	18 4.6%	13 3.4%	26 6.5%	5 1.4%	0 0.1%	402 100 %

Fuente: Elaboración propia

#### **4. 2. 2 MATERIALES.-**

##### **Hormigón**

El principal elemento del pavimento rígido es el hormigón, cuyos componentes: agregados, cemento y agua, que han de emplearse en su confección, deben ser de excelente calidad.

Como medida de calidad y durabilidad del hormigón, se emplea la resistencia a compresión simple tomada a los 28 días; sin embargo en el diseño de pavimentos, el parámetro de resistencia que interesa es el módulo de rotura o resistencia a tracción del hormigón por flexión. La adopción del valor para este módulo será tratada posteriormente.

##### **Acero**

Para las barras de acero la tensión de trabajo debe estar por el orden del 75% del valor de la tensión a la fluencia, tomando en cuenta esta condición, se ha visto por conveniente emplear para este proyecto aceros de **400 MPa** de tensión a la fluencia para el caso de **barras de amarre**, y acero liso de **240 MPa** de fluencia para **barras pasajuntas**.

##### **Subrasante**

Otro parámetro fundamental en el diseño de pavimentos es el valor soporte de la subrasante o suelo de fundación debajo del paquete estructural; a continuación se explican las características de este parámetro.

#### **4. 2. 3 ESTIMACIÓN DEL MÓDULO DE SUBRASANTE.-**

Es llamado también módulo efectivo de reacción de la subrasante, representado por la letra "K" y es una variación del coeficiente de balasto de los suelos. Este módulo refleja la capacidad soporte de la subrasante, e involucra varias variables, tales como el tipo y espesor de la sub base, la pérdida de la capacidad soporte, profundidad con referencia a la fundación rígida y un estimativo del espesor de la losa, además de tomar en cuenta la variabilidad del valor soporte de la subrasante con relación al tiempo.

También de acuerdo con la norma el espesor de la losa es poco sensible al valor de "K", puesto que la presión que transmite el pavimento rígido al suelo de fundación es muy baja,

de manera que si por ejemplo se duplica el valor de "K", el espesor del pavimento se reducirá en aproximadamente 1cm. Por este motivo, no se ha considerado el aporte estructural del terraplén; esta norma sugiere no considerar el aporte estructural de la base ni el Factor de Pérdida de Soporte, considerando directamente el valor "K" de la subrasante en función a los CBR correspondientes a la subrasante natural con un 95% de compactación.

La determinación del módulo "K" se realiza mediante el gráfico presentado en la figura "Approximate Interrelationships of soil classifications and bearing values" que se adjunta en el Anexo.

Los valores obtenidos a partir de dicho gráfico son los siguientes:

Para CBR = 4.5 %  $\Rightarrow$  K = 38 KPa/mm

Para CBR = 10.0 %  $\Rightarrow$  K = 62 KPa/mm

#### **4. 2. 4 CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE.-**

La subrasante natural a lo largo del tramo proyectado presenta valores bastante disímiles, presentándose suelos que varían entre tipo A-1b y A-6. De los datos obtenidos en campo se han establecido los valores de CBR recomendados para la subrasante, valores que fluctúan entre 4.5% y 10.0%.

Para sitios con subrasante con valor de CBR menor a 4.5%, se deberá reemplazar el material no adecuado en el espesor indicado en el estudio geotécnico, o efectuar un mejoramiento con material granular.

#### **4. 2. 5 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE SUB BASE.-**

La capa sub base se utiliza en los pavimentos rígidos, principalmente para evitar el bombeo de finos, proveer una plataforma estable y uniforme para la construcción y minimizar la deformabilidad del suelo de fundación, en este sentido, si bien no se requieren altas resistencias, es desde todo punto de vista recomendable el empleo de dicha base. Para el proyecto se utilizó una capa granular con calidad de sub base y se da la denominación de sub base a la mencionada capa, con el fin de establecer un parámetro de calidad mínima necesaria.

La capa sub base será estabilizada granulométricamente, deberá presentar un CBR mínimo de 60% a un grado de compactación igual a 98% del ensayo Proctor modificado T-180 y tendrá un espesor mínimo de 15 cm.

Esta capa debe tener carácter permeable y debe funcionar como un dispositivo drenante para el paquete estructural.

#### 4.3 DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO AASHTO.-

Tabla 4.2

Datos Históricos SNC - Ruta D-402

Tramo Vial: Campo Pajoso - Caraparí - Palos Blancos

Composición Vehicular Promedio

AÑO	LIVIANOS		BUSES			CAMIONES				OTROS	TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Automóviles Vagonetas Jeeps	Camionetas Minibuses	Microbuses hasta 21 pasajeros	Medianos 22 a 36 pasajeros	Grandes mayor a 36 pasajeros	Pequeños Ejes Simples Máximo 6 ruedas	Medianos Ejes Simples Máximo 6 ruedas	Grandes Ejes Tamdem Mínimo 10 ruedas Ríg. O Art.	Pesados Ejes Tridem Mínimo 12 ruedas Articulado	Maquinaria pesada Cosechadores Tractores y otros	
<b>1995</b>	15.65%	17.68%	1.16%	3.04%	14.93%	9.71%	12.46%	19.86%	5.51%	0.00%	100.00%
<b>1996</b>	18.03%	18.22%	1.41%	3.63%	16.82%	5.64%	8.56%	22.05%	5.64%	0.00%	100.00%
<b>1997</b>	20.20%	17.19%	0.37%	2.30%	15.63%	5.06%	10.85%	21.23%	7.17%	0.00%	100.00%
<b>1998</b>	14.25%	15.13%	3.12%	1.36%	12.33%	9.53%	13.69%	21.06%	9.53%	0.00%	100.00%
<b>PROMEDIO</b>	<b>17.03%</b>	<b>17.06%</b>	<b>1.52%</b>	<b>2.58%</b>	<b>14.93%</b>	<b>7.49%</b>	<b>11.39%</b>	<b>21.05%</b>	<b>6.96%</b>	<b>0.00%</b>	<b>100.00%</b>

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del SNC.

Tabla 4.3

Distribución de la Composición Vehicular Promedio  
Tramo Vial: Campo Pajoso – Caraparí - Palos Blancos

DATOS	LIVIANOS		BUSES			CAMIONES				OTROS	TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Automóviles Vagonetas Jeeps	Camionetas Minibuses	Microbuses hasta 21 pasajeros	Medianos 22 a 36 pasajeros	Grandes mayor a 36 pasajeros	Pequeños Ejes Simples Máximo 6 ruedas	Medianos Ejes Simples Máximo 6 ruedas	Grandes Ejes Tamdem Mínimo 10 ruedas Ríg. o Art.	Pesados Ejes Tridem Mínimo 12 ruedas Articulado	Maquinaria pesada Cosechadores Tractores y otros	
Aforados	44.3%	31%	4.8%	1.2%	3.1%	4.6%	3.4%	6.5%	1.4%	0.1%	100 %
Históricos	17.03%	17.06%	1.52%	2.58%	14.93%	7.49%	11.39%	21.05%	6.96%	0.00%	100.00%
Promedio	<b>30.67%</b>	<b>24.03%</b>	<b>3.16%</b>	<b>1.89%</b>	<b>9.02%</b>	<b>6.05%</b>	<b>7.40%</b>	<b>13.78%</b>	<b>4.18%</b>	<b>0.05%</b>	<b>100.00%</b>

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del SNC.

Tabla N° 4.4  
Resumen del Tráfico Horario

HORA	ESTACIÓN		PROMEDIO	%
	CAMPO PAJOSO	SAN ALBERTO		
7 – 8	15	21	18	<b>4,5</b>
8 – 9	18	23	20,5	<b>5,1</b>
9 – 10	21	27	24	<b>5,9</b>
10 – 11	19	28	23,5	<b>5,8</b>
11 – 12	18	22	20	<b>5,0</b>
12 – 13	18	21	19,5	<b>4,8</b>
13 – 14	18	26	22	<b>5,5</b>
14 – 15	16	26	21	<b>5,2</b>
15 – 16	21	22	21,5	<b>5,3</b>
16 – 17	18	27	22,5	<b>5,6</b>
17 – 18	20	28	24	<b>5,9</b>
18 – 19	23	36	29,5	<b>7,3</b>
19 – 20	23	41	32	<b>7,9</b>
20 – 21	15	26	20,5	<b>5,1</b>
21 – 22	10	19	14,5	<b>3,6</b>
22 - 23	6	9	7,5	<b>1,9</b>
23 - 24	3	8	5,5	<b>1,4</b>
24 - 1	3	4	3,5	<b>0,9</b>
1 – 2	3	4	3,5	<b>0,9</b>
2 – 3	2	2	2	<b>0,5</b>
3 – 4	2	3	2,5	<b>0,6</b>
4 – 5	6	6	6	<b>1,5</b>
5 – 6	14	21	17,5	<b>4,3</b>
6 – 7	15	30	22,5	<b>5,6</b>
<b>TOTAL</b>	<b>327</b>	<b>48</b>	<b>403</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. 4 MÓDULO PROMEDIO DE RUPTURA DEL HORMIGÓN A 28 DÍAS ( $S'_c$ )

El Módulo de rotura o resistencia a tracción del hormigón por flexión, es el esfuerzo de tensión en la fibra extrema bajo la carga de rotura. Para determinar este módulo se usa el ensayo de carga del tercio central (AASHTO T97, ASTM C78). Las expresiones que correlacionan la resistencia a compresión a los 28 días con el módulo de ruptura ofrecen valores muy dispersos con relación a los valores obtenidos mediante el ensayo nombrado, razón por la cual se dificulta la elección de un valor de resistencia cilíndrica para la obra.

En la práctica del diseño de pavimentos se ha generalizado el empleo de valores promedio de  $S'_c = 4.50 \text{ MPa}$ , el cual será adoptado en el presente diseño. El módulo de rotura deberá verificarse durante la construcción mediante ensayos de vigas a la flexión. Las dosificaciones de hormigón corresponden en forma aproximada a este valor.

##### 4. 4. 1 MÓDULO DE ELASTICIDAD ( $E_c$ )

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir las cargas que soporta la losa del pavimento. Mientras más alto sea el valor del módulo elástico, más rígida será la losa. Los esfuerzos, deformaciones y deflexiones, están influenciados por el valor del módulo elástico. Este valor se determina usando los procedimientos descritos en el ensayo ASTM C 469.

Sin embargo, puede determinarse el valor del módulo de elasticidad a partir de la resistencia a compresión ó a la flexión del hormigón. En nuestro caso, se ha utilizado la siguiente expresión:

$$E_c = 1,000,00[S'_c(kPa) - 3,370]/43.5$$

De esta fórmula se obtiene el valor aproximado de  $E_c = 26,000 \text{ MPa}$ . El diseño es poco sensible a esta variable.

#### 4. 4. 2 MÓDULO EFECTIVO DE REACCIÓN DE LA SUB RASANTE (K)

Los valores ahí obtenidos son:

Para CBR = 4.5 %  $\Rightarrow$  K = 38 KPa/mm

Para CBR = 10.0 %  $\Rightarrow$  K = 62 KPa/mm

#### 4. 4. 3 NIVEL DE CONFIANZA (R)

La confiabilidad es la probabilidad (expresada como porcentaje) de que el sistema que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones que tienen lugar durante ese lapso, es decir que el pavimento sobreviva al tráfico y a las condiciones del medio ambiente del período de diseño.

La selección del nivel apropiado de confianza para el diseño de un pavimento está determinada por el uso esperado de ese pavimento. Un nivel de confianza elevado significa un pavimento más costoso y por lo tanto mayor costo inicial, pero pasará mayor tiempo antes de que necesite reparación y por ende los costos de mantenimiento serán menores, un nivel de confianza bajo da pavimentos más económicos, pero con mayor costo de mantenimiento, lógicamente, existirá un nivel de confianza óptimo en el cual la suma de los costos iniciales y de mantenimiento dan un mínimo.

Bajo ese criterio la AASHTO elaboró la tabla que se presenta a continuación, donde se presentan niveles de confianza en función del tipo de camino y su ubicación.

Tabla N° 4.5  
Valores de Confianza  
(en función de la funcionalidad)

<b>Clasificación Funcional</b>	<b>Urbana</b>	<b>Rural</b>
Interestatal y Otras Autopistas	85.0 – 99.9	80.0 - 99.9
Arterias Principales	80.0 – 99.0	75.0 - 95.0
Colectores	80.0 – 95.0	75.0 - 95.0
Local	50.0 – 80.0	50.0 - 80.0

**Fuente:** Guía de Diseño AASHTO

Dadas las características de la vía en estudio adoptaremos un nivel de confianza  $R = 80\%$ , que correspondería a un camino colector en área rural.

#### **4. 4. 4 DESVIACIÓN ESTÁNDAR GLOBAL ( $S_0$ )**

Toma en cuenta la variabilidad de los datos de diseño, la variabilidad del tráfico durante la vida útil del pavimento, la variabilidad de los fenómenos naturales, variabilidad durante los procesos constructivos, incluyendo la variabilidad en las propiedades de materiales, suelo de fundación, etc. En ausencia de valores nacionales, la Guía de Diseño AASHTO recomienda valores recomendados para pavimentos rígidos. Para el caso donde la varianza del tráfico futuro proyectado no se considera, la Guía de Diseño AASHTO recomienda un valor de 0.35. Por lo tanto el valor adoptado será de  $S_0 = 0.35$ .

#### **4. 4. 5 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J)**

Es un factor usado sólo en pavimentos rígidos y sirve para tener en cuenta la capacidad de la estructura del pavimento para transferir cargas a través de juntas y fisuras. Este factor considera además, el apoyo lateral provisto en las esquinas de la losa.

Los dispositivos de transferencia de cargas, interacción de agregados, y la presencia de bermas de hormigón vinculadas tienen un efecto en este valor. Coeficientes de transferencia de carga altos corresponden a menor soporte provisto para el pavimento, con menor soporte, se espera que el pavimento sea más susceptible al bombeo, y otros deterioros relacionados con juntas y esquinas.

Como una guía general para el rango de coeficientes de carga, se debe usar coeficientes mayores para valores bajos de K, altos coeficientes termales y mayores variaciones de temperatura. El pavimento es altamente sensible al valor J y se presentan dos posibilidades: con bermas vinculadas o sobrecancho de hormigón, o bien con berma de asfalto. La siguiente tabla provee recomendaciones para la selección del coeficiente de transferencia de carga:

Tabla N° 4.6  
Coeficientes de Transferencia de Carga

Tipo de Pavimento	Berma de Asfalto		Berma de Ho. Vinculada	
	Dispositivo de Transferencia		Dispositivo de Transferencia	
	Sí	No	Sí	No
Junta Sencilla y Junta reforzada	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Continuamente Reforzada	2.9 – 3.2	N/D	2.3 – 2.9	N/D

**Fuente:** Guía de Diseño AASHTO

Se ha realizado el diseño considerando una berma de asfalto, por lo que el factor adoptado es **J = 3.2**.

#### 4. 4. 6 COEFICIENTE GLOBAL DE DRENAJE ( $C_D$ )

El coeficiente de drenaje incorpora el efecto del drenaje en la vida de los pavimentos rígidos. El efecto del drenaje en el desempeño de los pavimentos es una función de la calidad del drenaje (tiempo requerido para que el agua escurra) y la cantidad de tiempo durante el año en que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.

La calidad del drenaje depende de las permeabilidades de la sub base y los materiales de fundación, el diseño de las secciones transversales estructurales y de la presencia de drenes longitudinales de borde. Este valor no es fácil de determinar y en el presente caso se adoptará simplemente por las características de clasificación de suelos determinadas por el consultor y los datos de pluviometría. El período del el año que el pavimento está expuesto a niveles cercanos a la saturación es una función de las características de precipitación y evapotranspiración que son inherentes al clima particular de la región.

La norma AASHTO sugiere una calificación para la calidad del drenaje de acuerdo al tiempo en que las aguas son drenadas, tanto de la losa como de la capa sub base y subrasante. Esta calificación puede ser apreciada en la Tabla 4.7

Tabla N° 4.7  
Niveles de calidad de Drenaje

<b>Calidad de Drenaje</b>	<b>Agua Removida Dentro de:</b>
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy Pobre	Agua no drena

**Fuente:** Guía de Diseño AASHTO

Para la selección del coeficiente de drenaje, AASHTO provee la siguiente tabla, donde la calificación dada al drenaje se relaciona con el tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación:

Tabla N° 4.8  
Coeficientes de Drenaje

<b>Calidad de Drenaje</b>	<b>% del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación</b>			
	<b>Menos de 1 %</b>	<b>1 - 5%</b>	<b>5 - 25%</b>	<b>Más de 25 %</b>
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy Pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

**Fuente** Guía de Diseño AASHTO

Las condiciones morfológicas de la zona, las obras de drenaje provistas y descritas con anterioridad, indican un drenaje entre regular y bueno, las características de precipitación de la zona nos llevan a deducir que entre el 5 y 25% del tiempo el pavimento estará en niveles cercanos a la saturación, por lo tanto el coeficiente global de drenaje adoptado será de  $C_d = 1.10$ .

#### 4.5 RESULTADOS

Con los datos anteriormente expuestos, se ha realizado el diseño final empleando el software "DARWin 3.0", desarrollado por la AASHTO. Se adjunta el diseño del pavimento con bermas de asfalto, es decir para un ancho de plataforma de 7.00 m. La berma adyacente a la plataforma de hormigón, debe ser construida con capa base y tratamiento superficial. Las juntas transversales deben ser aserradas in situ hasta una profundidad de un tercio de la losa en un ancho de 6.0 mm y a una profundidad de 20 mm. Se recomienda el uso de una tira de respaldo (backer rod de 8 mm) y un sellador basado en silicona. Los resultados de obtenidos mediante el software empleado se resumen en la siguiente tabla.

Tabla N° 4.9  
Valores espesores pavimento en mm  
Período de diseño 20 años

TRAMO	CBR %	K adoptado	SUBBASE	ESP. LOSA
Campo Pajoso – Caraparí	4.5	38	150	220
	10	62	150	210

**Fuente:** Elaboración propia

Para desarrollar el presente diseño se tomaron en consideración los siguientes elementos:

- Diseño de hormigón para un ancho de 3.50 m.
- La berma debe ser construido con capa base y tratamiento superficial.
- La distancia entre juntas transversales es de 4.50 m (losa de dimensiones 3.50 por 4.50 m).
- En las juntas transversales deberá colocarse acero liso de 1" de 0.45 m de largo y espaciado a 0.30 m.
- Las juntas deberán ser aserradas y rellenadas posteriormente con silicona o similar.
- El módulo de ruptura del hormigón a los 28 días es de 4.50 MPa.
- El módulo k adoptado corresponde a un suelo estable con 4.5% y 10% de CBR y sus unidades están expresadas en kPa/mm.

## 4. 5. 1.- DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO AASHTO 2008

### 4.5.1.1- Parámetros para el diseño

- El periodo de diseño será de 30 años
- El IRI inicial será de 63 in/mi
- El IRI terminal será de 172 in/mi con una confiabilidad del 80%
- **Fisuramiento transversal (% de losas fisuradas)**  
Transverse Cracking (% slabs cracked): El límite será de 15% con una confiabilidad del 80%.
- **Desnivel Promedio entre Juntas (in)**  
Mean Joint Faulting (in): El límite será de 0.20 in con una confiabilidad del 80%.
- **Fisuramiento de la superficie al fondo-Fisuramiento Long (ft/mi)-**  
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile): El límite será de 500 ft/mi con una confiabilidad de 80%.
- **Fisuramiento del fondo a la superficie - piel de cocodrilo (%).- AC**  
Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%): El límite será de 25% con una confiabilidad de 80%.
- **Fracturas Térmicas (ft/mi).- AC Thermal Fracture:** El límite será 1000 ft/mi con una confiabilidad de 80%.
- **Deformación total permanente en el pavimento (in)** Permanent Deformation – Total Pavement (in): El límite será 0.5 pulgadas con una confiabilidad de 80%.

<b>LOS ASPECTOS DE TRÁFICO ACOMODADOS AL MÉTODO SON</b>	
Initial two-way AADTT ( <i>ADDT para los dos sentidos</i> )	<b>116</b>
Number of lanes in design direction ( <i>Numero de carriles en dirección del diseño</i> )	<b>2</b>
Percent of trucks in design direction ( <i>% de camiones en dirección de diseño</i> )	<b>50</b>
Percent of trucks in design lane ( <i>% de camiones en carril de diseño</i> )	<b>95</b>
Operational speed ( <i>Velocidad operacional</i> ) ( <i>mph</i> )	<b>25</b>

**Fuente:** Elaboración propia

#### **Distribución de vehículos por clase**

Class 4	44.74%
Class 5	24.03%
Class 6	6.05%
Class 7	0.00%
Class 8	7.40%
Class 9	0.0%
Class 10	0.0%
Class 11	18.01%
Class 12	0.0%
Class 13	0.0%

**Fuente:** Elaboración propia

**Distribución de tráfico de camiones por hora**

<b>Midnight</b>	0,9%	<b>Noon</b>	4,8%
1:00 am	0,9%	1:00 pm	5,5%
2:00 am	0,5%	2:00 pm	5,2%
3:00 am	0,6%	3:00 pm	5,3%
4:00 am	1,5%	4:00 pm	5,6%
5:00 am	4,3%	5:00 pm	5,9%
6:00 am	5,6%	6:00 pm	7,3%
7:00 am	4,5%	7:00 pm	7,9%
8:00 am	5,1%	8:00 pm	5,1%
9:00 am	5,9%	9:00 pm	3,6%
10:00 am	5,8%	10:00 pm	1,9%
11:00 am	5,0%	11:00 pm	1,4%

**Fuente: Elaboración propia**

**Número de ejes por camión**

<b>Vehicle Class</b>	<b>Single Axle</b>	<b>Tandem Axle</b>	<b>Tridem Axle</b>	<b>Quad Axle</b>
Class 4	1.62	0.39	0.00	0.00
Class 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Class 6	1.02	0.99	0.00	0.00
Class 7	1.00	0.26	0.83	0.00
Class 8	2.38	0.67	0.00	0.00
Class 9	1.13	1.93	0.00	0.00
Class 10	1.19	1.09	0.89	0.00
Class 11	4.29	0.26	0.06	0.00
Class 12	3.52	1.14	0.06	0.00
Class 13	2.15	2.13	0.35	0.00

### Configuración de ejes

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions / <i>Ancho Promedio del eje (de borde a borde) - dimensiones exteriores (ft):</i>	<b>8.5</b>
Dual tire spacing / <i>Espaciamiento entre neumáticos dobles (in):</i>	<b>12</b>
Tire Pressure / <i>Presión de los neumáticos (psi):</i>	<b>120</b>
Axle Spacing / <i>Espaciamiento entre Ejes:</i>	
Eje Tandem (in):	<b>51.6</b>
Eje Tridem (in):	<b>49.2</b>
Eje Quad (in):	<b>49.2</b>

### Capa Sub-base.-

Unbound Material / *Tipo de material: A-2-4*  
Thickness / *Espesor (in): 6*

### Strength Properties / Propiedades de resistencia

Input Level / <i>Nivel de jerarquia:</i>	Level 2
Analysis Type / <i>Tipo de análisis:</i>	ICM inputs (ICM Calculated Modulus)
Poisson's ratio / <i>Coefficiente de poisson:</i>	0.35
Coefficient of lateral pressure / <i>Coefficiente de poisson Ko:</i>	0.5
CBR:	40

**Fuente: elaboración propia**

## Capa de Subrasante

Unbound Material / *Material sin consolidar:*

A-6

Thickness / Espesor (in):     Semi-infinite / *Semi-infinito (por ser la última capa)*

### Strength Properties / Propiedades de resistencia

Input Level / <i>Nivel de jerarquía:</i>	Level 3
Analysis Type / <i>Tipo de análisis:</i>	ICM inputs (ICM Calculated Modulus)
Poisson's ratio / <i>Coefficiente de poisson:</i>	0.35
Coefficient of lateral pressure / <i>Coefficiente de presión lateral Ko:</i>	0.5
Modulus (input) (psi):	15500

**Fuente: elaboración propia**

#### 4.6 VALORACIÓN DE RESULTADOS

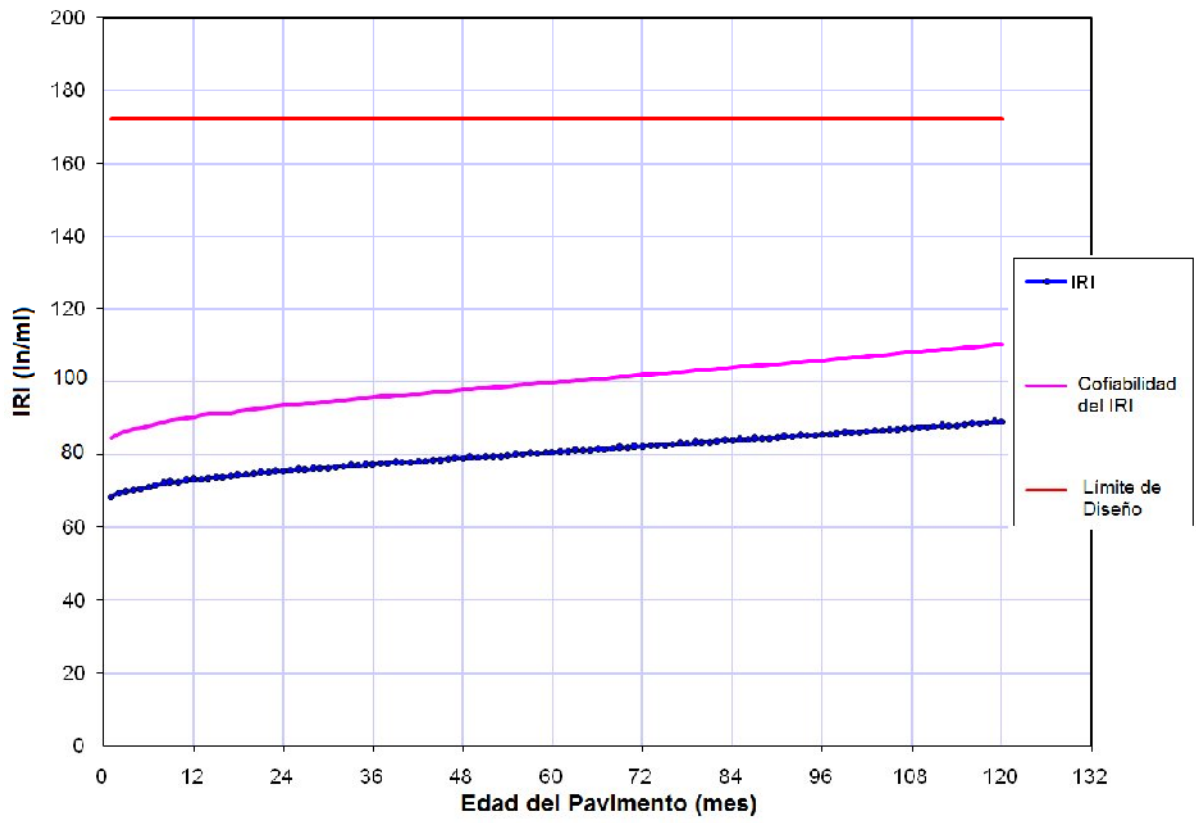
<b>PROYECTO:</b>	<b>CAMPO PAJOSO - CARAPARÍ</b>				
<b>RESUMEN DE CONFIABILIDAD</b>					
<b>Criterio de rendimiento</b>	<b>Objetivo Para daños</b>	<b>Objetivo de Confiabilidad (%)</b>	<b>Daños pronosticados</b>	<b>Confiabilidad Pronosticada (%)</b>	<b>Acceptable</b>
Terminal IRI (in/mi)	172	80	89	99.95	Pass
Fisuramiento Transversal (% de losas fisuradas)	15	80	0	99.999	Pass
Desnivel Promedio entre Juntas (in.)	0.20	80	0.145	82.45	Pass
Fisuramiento de la superficie hacia la parte inferior (fisuramiento longitudinal; ft./mi)	500	80	2.2	85.21	Pass
Fisuramiento de la parte inferior hacia la superficie (piel de cocodrilo; %)	25	80	0	99.999	Pass
Fracturas térmicas de la CR (fisuramiento transversal; ft/mi)	1000	80	0.6	99.999	Pass
Deformación Permanente (del pavimento total; in.)	0.5	80	0.41	88.61	Pass

### RESUMEN ESPESORES DE PAVIMENTO

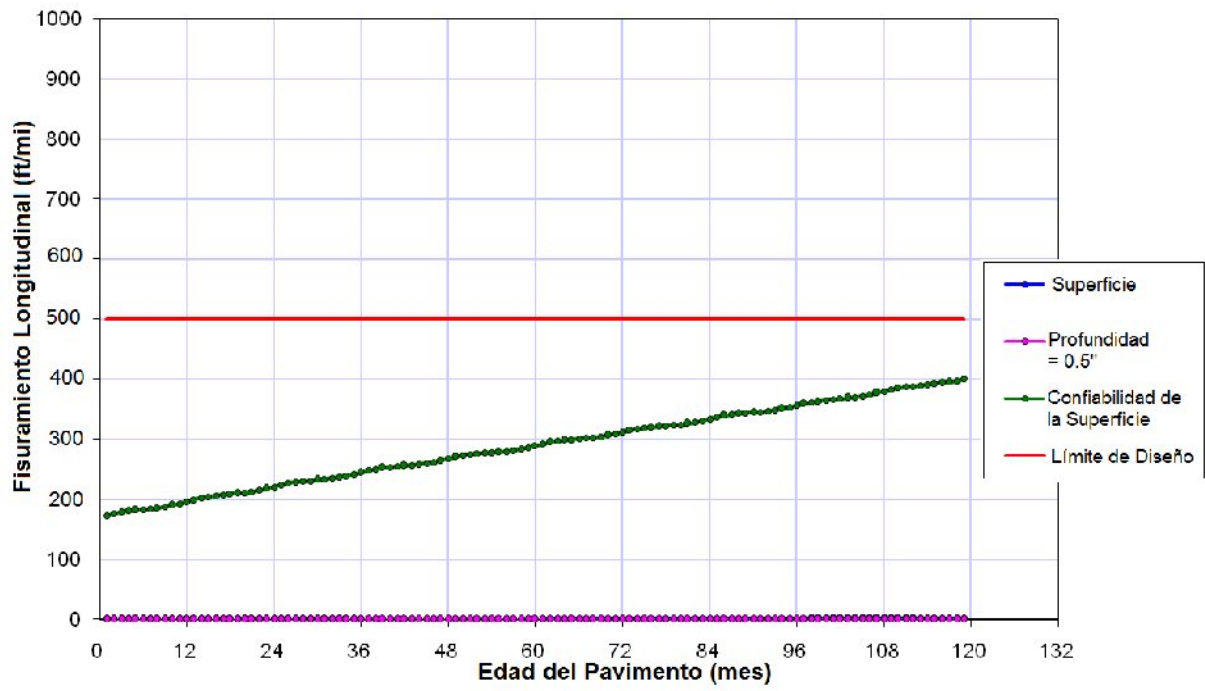
TRAMO	LOSA	SUB-BASE GRANULAR
Campo Pajoso- Caraparí	8 pulg. 20 cm	6 pulg. 15cm

**Fuente: AASHTO 2008 (M-EPDG)**

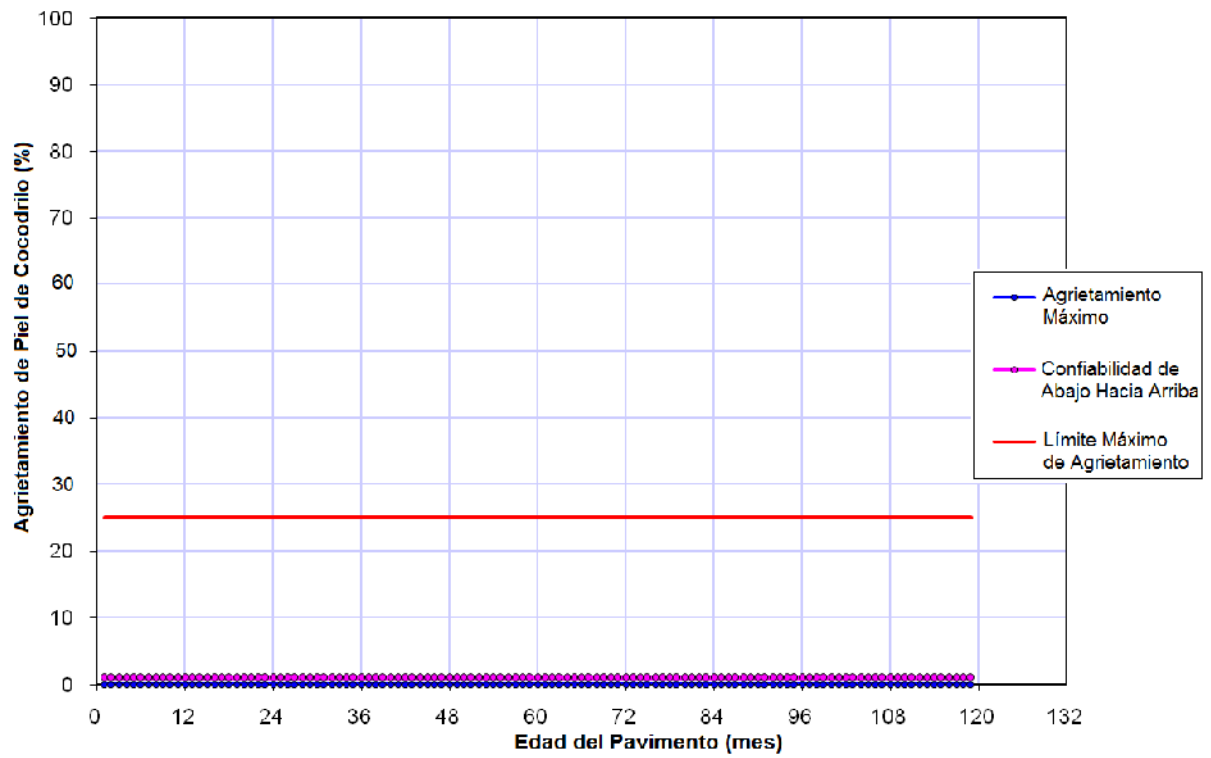
### IRI



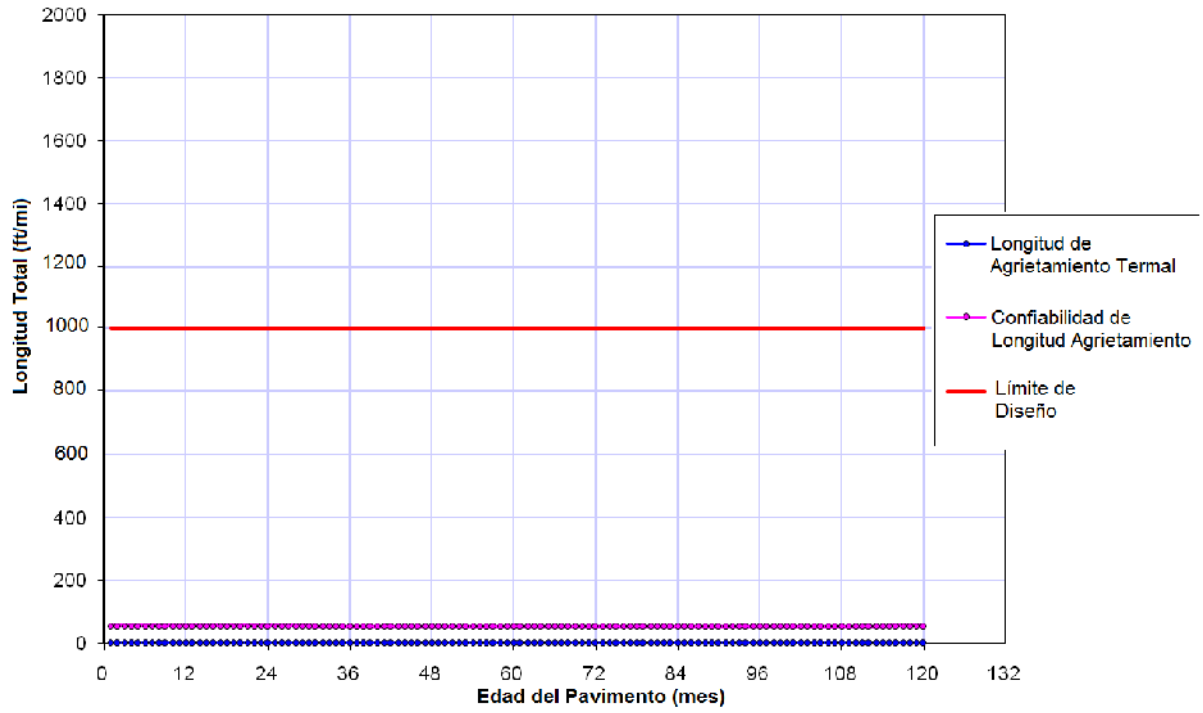
### Fisuramiento al Fondo de la Superficie - Fisuramiento Longitudinal



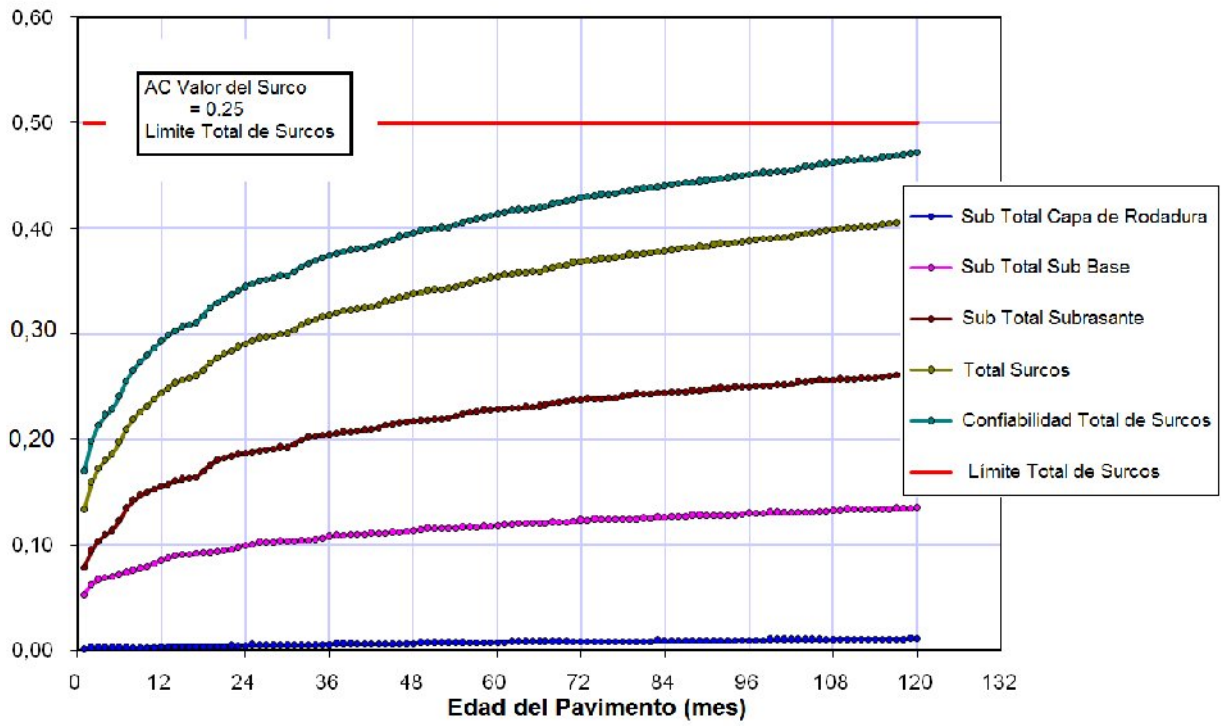
### Agrietamiento por Fatiga de Abajo Hacia Arriba - Piel de Cocodrilo



### Agrietamiento Termal: Longitud Total Vs Tiempo



### Deformación Permanente: Surcos



## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES.-**

- El dimensionamiento de pavimentos rígidos con el nuevo método de la AASHTO 2008 es un método que tiene por principio ser un método empírico - mecánico, ahora incrementa mas parámetros de diseño, como por ejemplo el clima, también los parámetros anteriormente utilizados en otras ediciones son más rigurosos.
- El procedimiento de diseño como ya se menciona anteriormente es empírico - mecánico, 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 requiere de registros horarios, en nuestro medio el SENAMHI solo registra datos diarios, lo que ya es un inconveniente.
- Los pavimentos flexibles, son pavimentos formados por distintas capas como ser: subrasante, sub-base, base y carpeta, lo que caracteriza a este de pavimento es que la carga recibida la distribuye entre sus capas, son más económicos pero su vida útil es más corta

- Para el instituto de asfalto los espesores y características de las diversas capas de la estructura, se determinan de tal forma que se cumplan dos condiciones básicas: que las deformaciones por tracción producidas en la fibra inferior de las capas asfálticas y las deformaciones verticales por compresión en la parte superior de la subrasante no superen los valores admisibles.
- Los elementos de diseño que utiliza el método empírico - mecanístico 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 Campo Pajoso – Carapari son de diferentes niveles jerárquicos (1, 2, 3), en lo posible se trato de obtener datos del lugar (nivel 1) como el trafico, o sino datos por defecto (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 datos específicos 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.
- 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.

- La caracterización del tráfico es distinta, ya 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 empírico - mecánico.
- 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.

## **5.2 RECOMENDACIONES.-**

- Se recomienda utilizar un diseño alternativo para comparar resultados, debido a que los resultados del método AASHTO 2008 (M-E-PDG) no son confiables en nuestro medio.
- Se recomienda utilizar las reglas de simulación para el diseño preliminar.
- Se recomienda utilizar para el diseño preliminar utilizar los espesores calculados por el método AASHTO 2008 para tener un punto de partida y así relacionarlo con las reglas de simulación, esto debido a que los resultados en nuestro medio no son confiables.