



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

## **ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

### **TEMA:**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA QUE PERMITA EL  
DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL MÉTODO  
AASHTO-93 EN EL LABORATORIO VIRTUAL DE INGENIERÍA  
GEOTÉCNICA (LVIG)”**

**Presentado por:**

Julio César Valdivieso Jaramillo

**Dirigida por:**

Ing. Ángel Tapia Chávez



Ing. Ángel Tapia Chávez

**DIRECTOR DE TESIS**

**CERTIFICA:**

Haber dirigido y revisado la tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Civil, realizada por el profesional en formación: Julio César Valdivieso Jaramillo, cuyo título es: **“IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA QUE PERMITA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL MÉTODO AASHTO-93 EN EL LABORATORIO VIRTUAL DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA (LVIG)”**; tema que cumple con las características exigidas por la reglamentación de la Escuela de Ingeniería Civil, por tanto, autorizo su presentación.

---

Ing. Ángel Tapia Chávez



## AUTORÍA

El contenido en general; conceptos, análisis, criterios y desarrollo del programa es de exclusiva responsabilidad del autor.

---

Julio César Valdivieso Jaramillo



## CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Julio César Valdivieso Jaramillo, declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición de Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la universidad”.

---

Julio César Valdivieso Jaramillo



## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja, y a sus docentes, quienes me han brindado todo su apoyo en el transcurso de mis estudios.

Al Ingeniero Ángel Tapia Chávez, Director de Tesis, por guiarme en la elaboración de este proyecto y por su colaboración para la culminación del presente.

En especial a mis padres, a quienes agradezco de todo corazón por su amor, cariño y comprensión.

Agradezco a Dios por llenar mi vida de dicha y bendiciones.

A mis compañeros y amigos por su confianza y lealtad.

**MUCHAS GRACIAS**

**El Autor**



## DEDICATORIA

A Dios, fuente de luz e inspiración.

A mis padres Julio Valdivieso y Flora Jaramillo, por todo el apoyo y confianza depositada en mí durante toda esta etapa de preparación.

A mis familiares y amigos que siempre me han ofrecido su apoyo y cariño.

Julio César Valdivieso Jaramillo



## CONTENIDO

	Pág.
CERTIFICACIÓN	I
AUTORÍA	II
CESIÓN DE DERECHOS	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
<b>CAPÍTULO I</b>	
1 Generalidades.....	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Justificación.....	3
<b>CAPÍTULO II</b>	
2 Conceptos y principios básicos en el diseño de pavimentos flexibles.....	5
2.1 Pavimentos.....	5
2.1.1 Definiciones.....	5
2.2 Características que debe reunir un pavimento.....	8
<b>CAPÍTULO III</b>	
3 Diseño de pavimentos flexibles.....	10
<b>CAPÍTULO IV</b>	
4 Ejemplo y utilización de la herramienta que permitirá el diseño de pavimentos flexibles por el método aashto-93 para el laboratorio virtual de ingeniería geotécnica.....	14
4.1 Ejemplo de cálculo para la comprobación de la herramienta.....	14
4.2 Procedimiento para el manejo del software.....	21
4.3 Ejemplo para el manejo del software.....	23
<b>CAPÍTULO V</b>	
5 Conclusiones y recomendaciones.....	27
<b>CAPÍTULO VI</b>	
6 Referencias bibliográficas.....	30



---

Anexos I.....	32
Figuras.....	33
Anexos II.....	40
Tablas.....	41



# CAPÍTULO I



## **1 GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Los grandes avances en el conocimiento humano, el desarrollo de la automatización, la gran facilidad de las comunicaciones, investigaciones y experimentación ayudarán a tener un mejor conocimiento del comportamiento del pavimento ante solicitaciones de carga.

Desde la publicación de la primera guía AASHTO en 1961, se han efectuado modificaciones en la ecuación de diseño con la finalidad de mejorar su uso y su confiabilidad.

El diseño de pavimentos se ha venido realizando en base a experimentaciones realizadas hace más de medio siglo, los cuales fueron realizados a partir de cargas de tráfico menores a 2 millones de ejes equivalente (pista de prueba AASHTO), pero con el crecimiento del parque automotor, estas cargas de tráfico se han incrementado por encima de los 50 millones de ejes equivalentes, dando origen a la versión 1986, a la cual se le incorporo nuevas consideraciones entre las que cabe mencionar la confiabilidad del diseño, los módulos de elasticidad de la sub rasante y las capas del pavimento, los factores ambientales de temperatura y humedad, el drenaje, aspectos económicos, procedimientos de diseño para construcción por etapas y el conocimiento de los diseños de tipo empíricos (Melchor, 132-134).

El método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles publicada en 1993 incluye importantes modificaciones dirigidas a mejorar la confiabilidad del método.

### **1.2 OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL:**

- Desarrollar una herramienta que permita diseño de pavimentos flexibles por el método AASHTO-93 para su respectiva implementación en el LABORATORIO VIRTUAL DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA.



---

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Mediante esta aplicación crear foros de discusión que permita la integración de estudiantes y profesionales del País relacionados con la Ingeniería de Pavimentos, con estudiantes y profesionales de otros Países.
- Mediante esta aplicación mejorar la calidad de enseñanza y aprendizaje de la Ingeniería de Pavimentos.
- Con la implementación del software en el Laboratorio Virtual de Ingeniería Geotécnica permitir al profesional en formación de la Escuela de Ingeniería Civil realizar prácticas de Pavimentos mediante simulaciones.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El propósito de la presente investigación consiste en desarrollar una herramienta que permita el diseño de pavimentos flexibles por método AASHTO-93, la cual será implementada en el LABORATORIO VIRTUAL DE INGENIERIA GEOTECNICA, ya que dicho método ha demostrado ser confiable para el diseño de pavimentos flexibles, por eso es que se lo continua utilizando en los Estados Unidos.

La presente investigación al ser el comienzo con lo referente a la implementación del laboratorio virtual de geotecnia, permitirá en lo posterior seguir desarrollando herramientas que permitan un mejor diseño y evaluación de los pavimentos.



## CAPÍTULO II



---

## 2 CONCEPTOS Y PRINCIPIOS BÁSICOS EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

### 2.1 PAVIMENTO

#### 2.1.1 Definiciones

**Pavimento.-** Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas seleccionadas que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad. Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodamiento, en donde se debe tener una operación rápida y cómoda.

De acuerdo con las teorías de esfuerzos y las medidas de campo que se realizan, los materiales con que se construyen los pavimentos deben tener una calidad suficiente para resistir. Por lo mismo, las capas localizadas a mayor profundidad pueden ser de menor calidad, en relación con el nivel de esfuerzos que recibirán, aunque el pavimento, también transmita los esfuerzos a las capas inferiores y los distribuye de manera conveniente, con el fin de que estas los resistan.

La superficie de rodamiento o carpeta, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodadura uniforme y de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, del intemperismo producido por los agente naturales y cualquier otro agente perjudicial. Además como función estructural un pavimento tiene la de transmitir adecuadamente los esfuerzos producidos por las cargas impuestas a la subrasante, de modo que no sufra deformaciones.

En definitiva el pavimento constituye la superestructura de una obra vial, que hace posible el tránsito expedito de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía prevista por el proyecto.

La inversión en vías de comunicación es uno de los gastos públicos más importantes de un país y el diseño es la parte más crítica en un proyecto de pavimentos por su efecto en el costo inicial y en la vida útil. Un sistema de pavimentos incluye una gran extensión de vías, y cualesquiera que sea el tamaño de un proyecto, se deben realizar las siguientes actividades, con sus costos asociados: planeación, diseño, construcción y rehabilitación (Zagaceta, 2008: 16-17).



**Pavimentos flexibles.-** Este tipo de pavimentos están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra (Montejo, 2006: 2).

**Definición de cbr.-** Es una medida indirecta de resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones controladas de densidad y humedad (Zagaceta, 2008: 94).

**Módulo resiliente.-** Es una relación que vincula las solicitaciones aplicadas y las deformaciones recuperables al suprimirse el estado de tensiones impuesto (Zagaceta, 2008: 90).

**Serviciabilidad.-** La Serviciabilidad de un pavimento es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otra palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 (Perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de serviciabilidad final que depende de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del proyectista, con un valor de 0 (Pésimas condiciones) (Coronado, 2002: 43).

**Confiabilidad.-** Se entiende por confiabilidad de un proceso diseño-comportamiento de un pavimento a la probabilidad de que una sección diseñada usando dicho proceso, se comportará satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante el periodo de diseño (Montejo, 2006: 342).

**Drenaje.-** Se debe proteger la sección estructural de los pavimentos asfálticos de los efectos del agua exterior que pudiera penetrar en ellas. Este efecto es siempre nocivo por más que se extremen las precauciones para controlar la presencia siempre indeseable de los materiales arcillosos (Zagaceta, 2008: 87).

**Coefficientes estructurales.-** El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente ( $a_i$ ), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcional como parte de la estructura del pavimento (Montejo, 2006: 345).



**El período de diseño.-** Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente (Coronado, 2002: 141).

**Subrasante.-** Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante (Coronado, 2002: 94).

**Subbase.-** 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. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento. Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos flexibles (Coronado, 2002: 95).

**Base.-** Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de ésta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura (Coronado, 2002: 96).

**Superficie de rodadura.-** Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar



filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos. Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros), excepto el caso de riegos superficiales, ya que para estos se considera nula (Coronado, 2002: 104).

## 2.2 CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR UN PAVIMENTO

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal.
- Debe ser durable.
- Debe ser económico.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito (Zagaceta, 2008: 17).



## CAPÍTULO III



### 3 DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

#### Parámetros de Diseño

W18 = Número esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2tn en el periodo de diseño.

Zr = Desviación estándar del error combinado en la predicción del tráfico y comportamiento estructural.

So = Desviación estándar total.

$\Delta$ PSI = Diferencia entre la serviciabilidad inicial (Po) y final (Pt).

Mr = Módulo resiliente de la sub-rasante (psi).

SN = Número estructural, indicador de la capacidad estructural requerida (materiales y espesores).

ai = Coeficiente estructural de la capa i.

Di = Espesor de la capa i.

mi = Coeficiente de drenaje de la capa granular.

TPDA = Promedio diario actual de vehículos.

% de resistencia = Porcentaje del total de camiones para el cual se va a diseñar el pavimento.

Primero se determina el tránsito de diseño aplicando el procedimiento normal de cálculo de ejes equivalentes:

-Determine el número de vehículos por año.

$$\text{TPDA} \times \% \text{ camiones} \times \% \text{ de vehiculos pesado en el carril de diseño} \times \% \text{ de resistencia} \\ = \text{vehículos/día} \quad \text{(fórmula 3.1)}$$



- A continuación realizar la sumatoria de cargas para cada tipo de camión.
- Para obtener el factor de carga equivalente (LEF), se toman los valores de las Tablas 2, 3 y 4. (Anexos II)
- Luego obtener el factor de crecimiento FC, se considera la tasa anual de crecimiento y el periodo de diseño del pavimento.
- Determinar el número de ejes equivalentes para cada tipo de eje.

$$f_c \times LET \times (\text{Eje tipo} \times \text{año}) = EAL \quad (\text{fórmula 3.2})$$

- Realizar la sumatoria de todos los equivalentes para cada tipo de eje y se obtendrá como resultado el total de ejes equivalente.
- Se determina el módulo resiliente de la subrasante y de las capas de subbase y base granular.

$$MR = 1500 \times CBR \quad (\text{fórmula 3.3})$$

- Determinar el SN (volumen estructural del pavimento) partiendo del módulo resiliente de la subrasante. (ver Figura 2 “gráfica de diseño para estructuras de pavimento flexible”) (Anexos I)
- Se determina el espesor del concreto asfáltico a partir del módulo resiliente de la base, obteniendo  $SN_1$  (número estructural sobre base). (ver Figura 2 “gráfica de diseño para estructuras de pavimento flexible”) (Anexos I)
- Determinar el espesor en concreto asfáltico.

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} \quad (\text{fórmula 3.4})$$

- Se redondea el valor de  $D_1$  y se recalcula el número estructural.



$$SN_1 = a_1 \times D_1 \text{ corregido} \quad (\text{fórmula 3.5})$$

-Determinar el espesor de la base granular a partir del módulo resiliente de la capa de subbase, obteniendo  $SN_2$ , a partir de la Figura 2 “gráfica de diseño para estructuras de pavimento flexible” (Anexos I).

$$SN(\text{Base granular}) = SN_2 - SN_1 \text{ corregido} \quad (\text{fórmula 3.6})$$

$$SN(\text{Base granular}) = a_2 \times D_2 \times m_2 \quad (\text{fórmula 3.7})$$

$$D_2 = \frac{SN(\text{base granular})}{a_2 \times m_2} \quad (\text{fórmula 3.7.1})$$

-Se redondea el valor obtenido de  $D_2$  y se recalcula el número estructural de la base.

$$SN(\text{Subbase}) = SN - (SN_1 + SN(\text{base granular})) \quad (\text{fórmula 3.8})$$

$$SN(\text{Base granular}) = a_2 \times D_2(\text{elegido}) \times m_2 \quad (\text{fórmula 3.9})$$

-Determinar el espesor de la subbase a partir del número estructural del total del pavimento, concreto asfáltico y de la base granular.

$$SN(\text{Subbase}) = a_3 \times D_3 \times m_3 \quad (\text{fórmula 3.10})$$

$$D_3 = \frac{SN(\text{subbase})}{a_3 \times m_3} \quad (\text{fórmula 3.10.1})$$

**Fórmulas (3.1 - 3.10).- Determinación de los espesores de las capas mediante aproximaciones.**

**FUENTE:** AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.



## CAPÍTULO IV



## 4 EJEMPLO Y UTILIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA QUE PERMITIRÁ EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL MÉTODO AASHTO-93 PARA EL LABORATORIO VIRTUAL DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA

### 4.1 Ejemplo de cálculo para la comprobación de la herramienta

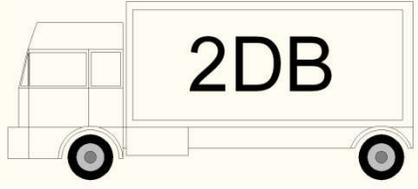
El estudio de tránsito ha determinado un TPDA actual de 8000 vehículos en ambas direcciones, de los cuales el 6% son camiones. Se ha estimado que el carril de diseño soportará el 45% de los camiones, habiéndose obtenido del registro de estación de control de pesos que el 40% son camiones 2DB, el 22% camiones 4C, 12% camiones 3S2 y 26% camiones 3S3. Además, el análisis de tránsito futuro indica un crecimiento de 2.5 % para el año de proyecto, que será luego de transcurrir 15 años.

Además una confiabilidad de 90% y una desviación estándar de 0.45, se espera que la calidad de la construcción sea tal que el índice de servicio inicial (po) sea 4.2 y se ha seleccionado un índice final (pt) de 2.0, lo que implica una pérdida total  $\Delta PSI = 4.2 - 2.0 = 2.2$ , el suelo de subrasante presenta, bajo condiciones de humedad y densidad esperadas, un CBR = 5%, los materiales disponibles para la construcción de las capas de subbase y base granular tiene CBR de 25% y 80% a los niveles de construcción exigidos por las especificaciones.

Para la temperatura media de la zona del proyecto (15°C), se estima que el módulo elástico del concreto asfáltico sea 24607.44 kg/cm<sup>2</sup>.

En relación con el drenaje, y considerando lo ya expuesto, se puede tomar un tiempo de drenaje de 1 día y un % de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación de 4%.

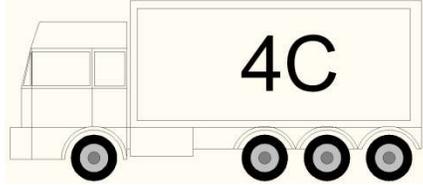
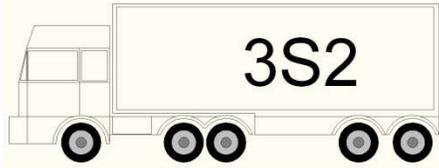
#### Cuadro 1.- Tipo de vehículos

40% 2DB	
---------	--

→ sigue



→ viene

22% 4C	
12% 3S2	
26% 3S3	

Primero se determina el tránsito de diseño aplicando el procedimiento normal de cálculo de ejes equivalentes.

-Determinar el número de vehículos por día.

$$\text{TPDA} \times \% \text{camiones} \times \% \text{de vehículos pesados en el carril de diseño} \times \% \text{de resistencia} = \text{vehículos/día} \quad (\text{fórmula 3.1})$$

El valor de 50% se lo obtiene en base al número de carriles indicados en la Tabla 1. (Anexos II)

$$8000 \times 6\% \times 50\% \times 45\% = 108 \text{ vehículos/día}; \quad (\text{fórmula 3.1})$$

- Determinamos el número de vehículos por año. (para cada tipo de vehículo).



## Cuadro 2.- Total de vehículos / año

	Vehículos/día	Vehículos/año
<b>2DB</b>	= 40% x 108 = 43 x 365 =	15695
<b>4C</b>	= 22% x 108 = 24 x 365 =	8760
<b>3S2</b>	= 12% x 108 = 13 x 365 =	4745
<b>3S3</b>	= 26% x 108 = 28 x 365 =	10220

Total vehículos/día = 108

-En la gráfica 1 que corresponde a los tipos de camiones “*cuadro demostrativo de cargas útiles permisibles*” (Anexos I) se determina que vehículos tienen los ejes tipo.

-Se realiza la sumatoria de cargas que corresponde para cada tipo de camión.

Eje de 6 Ton.

$$15695 + 8760 + 4745 + 10220 = \mathbf{39420}$$

Eje de 12 Ton.

**15695**

Eje de 19 Ton.

$$4745 + 4745 = \mathbf{9490}$$

Eje de 20 Ton.

**10220**

Eje de 24 Ton.

**8760**

Eje de 26 Ton.

**10220**

-Para obtener la columna Eje tipo x año se colocan los valores anteriormente obtenidos, es decir la sumatoria de cargas que corresponde para cada tipo de camión.

-El factor de carga equivalente (LEF), se obtiene a partir de las tablas indicadas en los Anexos II (Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4). Para obtener estos valores se procede a realizar una



interpolación de acuerdo con la carga Kips y el tipo de eje al que corresponde dicha carga, con un número estructural SN = 3.

Los valores obtenidos serán los siguientes:

**Cuadro 3.- Factores de carga equivalentes obtenidos**

ejes simples	
Carga (Kips)	SN
13.22	0.333
26.45	4.666

ejes tándem	
Carga (Kips)	SN
41.88	2.463
44.08	3.014

ejes tridem	
Carga (Kips)	SN
52.9	1.539
57.3	2.076

-A continuación se obtiene el factor de crecimiento FC, se considera la tasa anual de crecimiento y el periodo de diseño del pavimento en base a la Tabla 6. (Anexos II)

-Luego se determinara el número de ejes equivalentes para cada tipo de eje.

$$f_c \times LET \times (\text{Eje tipo} \times \text{año}) = EAL \quad (\text{fórmula 3.2})$$

-Para la determinación de los valores Kips, se los obtiene a partir de la tabla 7. (Anexos II)

-Se realiza la sumatoria de todos los ejes simples equivalentes para cada tipo de eje y se obtendrá el total de ejes equivalente.

**Cuadro 4.- Número de ejes equivalentes**

Carga Kips	Eje tipo x año	LEF	FC	EAL
13.22	39420	0.333	17.973	235929.055
26.45	15695	4.666	17.973	1316214.37
41.88	9490	2.463	17.973	420098.566
44.08	10220	3.014	17.973	553623.757
52.9	8760	1.539	17.973	242305.516
57.3	10220	2.076	17.973	381328.109
				<b>3149499.37</b>



Para determinar el espesor de las capas del pavimento se realizan los siguientes pasos:

-Se determina el módulo resiliente de la subrasante.

$$MR = 1500 \times CBR$$

$$MR = 1500 \times 5 = 7500 \text{ lb/pulg}^2; \quad (\text{fórmula 3.3})$$

$$MR = 7500 \times 0.07031 = 527.30 \text{ kg/cm}^2$$

-Determinar el SN (volumen estructural del pavimento) partiendo del módulo resiliente de la subrasante.

El cbr de la subbase (25%) corresponde a un módulo de elasticidad de 977.27 kg/cm<sup>2</sup> (13920 psi) y un coeficiente estructural  $a_3 = 0.1$ . (ver Figura 4 “*variación de los coeficientes de capa “a3”, en subbases granulares*”) (Anexos I)

El cbr de la base (80%) corresponde a un módulo de elasticidad de 2003.75 kg/cm<sup>2</sup> (28670 psi) y un coeficiente estructural  $a_2 = 0.13$ . (ver Figura 3 “*variación de los coeficientes de capa “a2”, en bases granulares*”) (Anexos I)

Determinar SN o volumen estructural del pavimento a partir del módulo resiliente de la subrasante y de los datos básicos del problema. (ver Figura 2 “*gráfica de diseño para estructuras de pavimento flexible*”) (Anexos I). SN = 4

Para determinar los coeficientes de Desviación Estándar Total y la Pérdida de Servicio  $\Delta PSI$  revisar las tablas 9 y 10. (Anexos II)

Se determina SN<sub>1</sub> y SN<sub>2</sub> a partir de los módulos resilientes (base y subbase) respectivamente y los datos básicos del problema. (ver Figura 2 “*gráfica de diseño para estructuras de pavimento flexible*”) (Anexos I). SN<sub>1</sub> = 2.5 y SN<sub>2</sub> = 3.2

-Determinar el espesor en concreto asfáltico.

El valor de  $a_1$  se lo obtiene a partir de la Figura 7 (Anexos I) en base al valor del módulo de elasticidad del concreto asfáltico, dividiendo por 0.07031, con el fin de transformar a psi.



$$\frac{24607.44}{0.07031} = 349985 \text{ psi} \Rightarrow 350000 \text{ psi}$$

$$a_1 = 0.39$$

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$D_1 = \frac{2.5}{0.39} = 6.4 \text{ pulg.}; \quad (\text{fórmula 3.4})$$

-Se redondea el valor de  $D_1$  y se recalcula el número estructural.

$$D_1 = 6 \text{ pulg}$$

$$SN_1 = a_1 \times D_1 \text{ corregido}$$

$$SN_1 = 0.39 \times 6 = 2.34; \quad (\text{fórmula 3.5})$$

-Determinar el espesor de la base granular a partir del módulo resiliente de la capa de subbase.

$$SN(\text{Base granular}) = SN_2 - SN_1 \text{ corregido}$$

$$SN = 3.2 - 2.34 = 0.86; \quad (\text{fórmula 3.6})$$

$$SN(\text{Base granular}) = a_2 \times D_2 \times m_2, \quad \text{entonces}$$

Al valor de  $m_2$  se lo obtiene a partir de la Tabla 11 (valores de mi). (Anexos II)

$$D_2 = \frac{SN(\text{base granular})}{a_2 \times m_2}$$

$$D_2 = \frac{0.86}{0.13 \times 1.15} = 5.8 \text{ pulg.}; \quad (\text{fórmula 3.7})$$



Redondear el valor obtenido de  $D_2$  y recalculer el número estructural de la base.

$$D_2 = 6 \text{ pulg}$$

$$SN(\text{Base granular}) = a_2 \times D_2(\text{elegido}) \times m_2$$

$$SN(\text{Base granular}) = 0.13 \times 6 \times 1.15 = 0.9; \quad (\text{fórmula 3.8})$$

-Determinar el espesor de la subbase a partir del número estructural del total del pavimento, concreto asfáltico y de la base granular.

$$SN(\text{Subbase}) = SN - (SN_1 + SN(\text{base granular}))$$

$$SN(\text{Subbase}) = 4 - (2.34 + 0.9) = 0.76; \quad (\text{fórmula 3.9})$$

$$SN(\text{Subbase}) = a_3 \times D_3 \times m_3, \quad \text{despejando } D_3 \text{ se obtiene:}$$

$$D_3 = \frac{SN(\text{subbase})}{a_3 \times m_3}$$

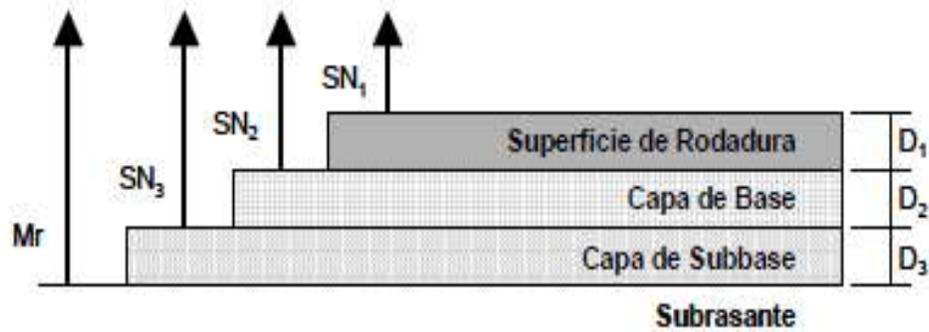
$$D_3 = \frac{0.76}{0.1 \times 1.15} = 6.61 \text{ pulg.}; \quad (\text{fórmula 3.10})$$

$$D_3 = 7 \text{ pulg}$$

-Una vez obtenidos los espesores de las capas del pavimento revisar la tabla 12, con el fin de comprobar si los espesores calculados cumplen con los espesores mínimos sugeridos para capas asfálticas y base granular en función del tránsito.

### **Diseño del pavimento**

La estructura quedaría de la siguiente manera:



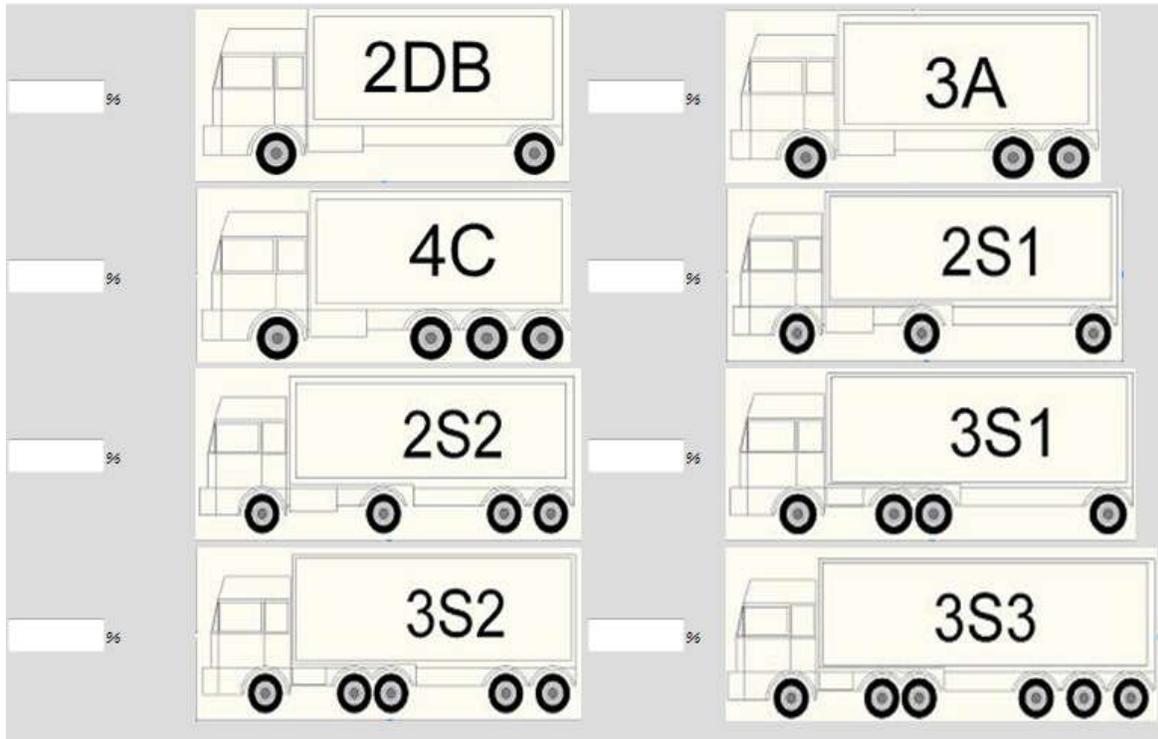
Cuadro 5.- Espesor de las capas del pavimento flexible.

Concreto Asfáltico	D1 =	6	pulg.	15.24	cm.
Base Granular	D2 =	6	pulg.	15.24	cm.
Subbase Granular	D3 =	7	pulg.	17.78	cm.

## 4.2 Procedimiento para el manejo del software

### (Diseño de pavimentos flexibles método aashto-93)

En la siguiente pantalla ingresar los datos correspondientes al porcentaje de camiones, tomando en cuenta que la sumatoria de todos los porcentajes de los camiones debe dar como resultado el 100 %.



En la siguiente pantalla se ingresan los datos referentes al porcentaje que soportara el carril de diseño, el TPDA(Tránsito actual en ambas direcciones), el porcentaje de camiones que corresponden al TPDA, el número de carriles, el periodo de diseño del pavimento, crecimiento de tránsito anual en porcentaje, confiabilidad, CBR (SUBRASANTE), CBR (SUBBASE), CBR (BASE GRANULAR), tiempo de drenaje, Módulo elástico del concreto asfáltico.

<input type="text"/>	TPDA	<input type="text"/>	%	DE CAMIONES
<input type="text"/>	% DE RESISTENCIA	<input type="text"/>	años	PERIODO DE DISEÑO
<input type="text"/>	DESVIACIÓN ESTANDAR	<input type="text"/>		INDICE DE SERVICIO INICIAL
<input type="text"/>	% CRECIMIENTO DE TRÁNSITO ANUAL	<input type="text"/>		INDICE DE SERVICIO FINAL
<input type="text"/>	% CONFIABILIDAD	<input type="text"/>	kg/cm <sup>2</sup>	MÓDULO ELASTICO DEL CONCRETO ASFÁLTICO
Seleccione	NÚMERO DE CARRILES	<input type="text"/>	%	CBR (SUBRASANTE)
TIEMPO DE DRENAJE		<input type="text"/>	%	CBR (SUBBASE)
Seleccione...	Seleccione...	<input type="text"/>	%	CBR Seleccione...

ANALISIS    LIMPIAR    EJEMPLO    AYUDA



Una vez colocados todos los datos seleccionar en el botón “ANÁLISIS”.

Luego se presentara una ventana con los resultados (ESPESORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO).

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS**

<input type="text"/>	<i>w18</i>	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES
<input type="text"/>	<i>psi</i>	MÓDULO RESILIENTE (SUBRASANTE)
<input type="text"/>	<i>psi</i>	MÓDULO DE ELASTICIDAD (SUBBASE)
<input type="text"/>		TRIAXIAL DE TEXAS
<input type="text"/>	<i>a3</i>	COEFICIENTE ESTRUCTURAL
<input type="text"/>	<i>psi</i>	MÓDULO DE ELASTICIDAD (BASE)
<input type="text"/>		TRIAXIAL DE TEXAS
<input type="text"/>	<i>a2</i>	COEFICIENTE ESTRUCTURAL
<input type="text"/>	<i>SN</i>	VOLUMEN ESTRUCTURAL (SUBRASANTE)

SN1=	SN2=	SN3=
D1=	D2=	D3=

<input type="text"/>	<i>cm</i>	ESPESOR DEL CONCRETO ASFÁLTICO
<input type="text"/>	<i>cm</i>	ESPESOR DE BASE GRANULAR/B.T.C./B.T.A.
<input type="text"/>	<i>cm</i>	ESPESOR DE SUBBASE GRANULAR

### 4.3 Ejemplo para el manejo del software

#### (Diseño de pavimentos flexibles método aashto-93)

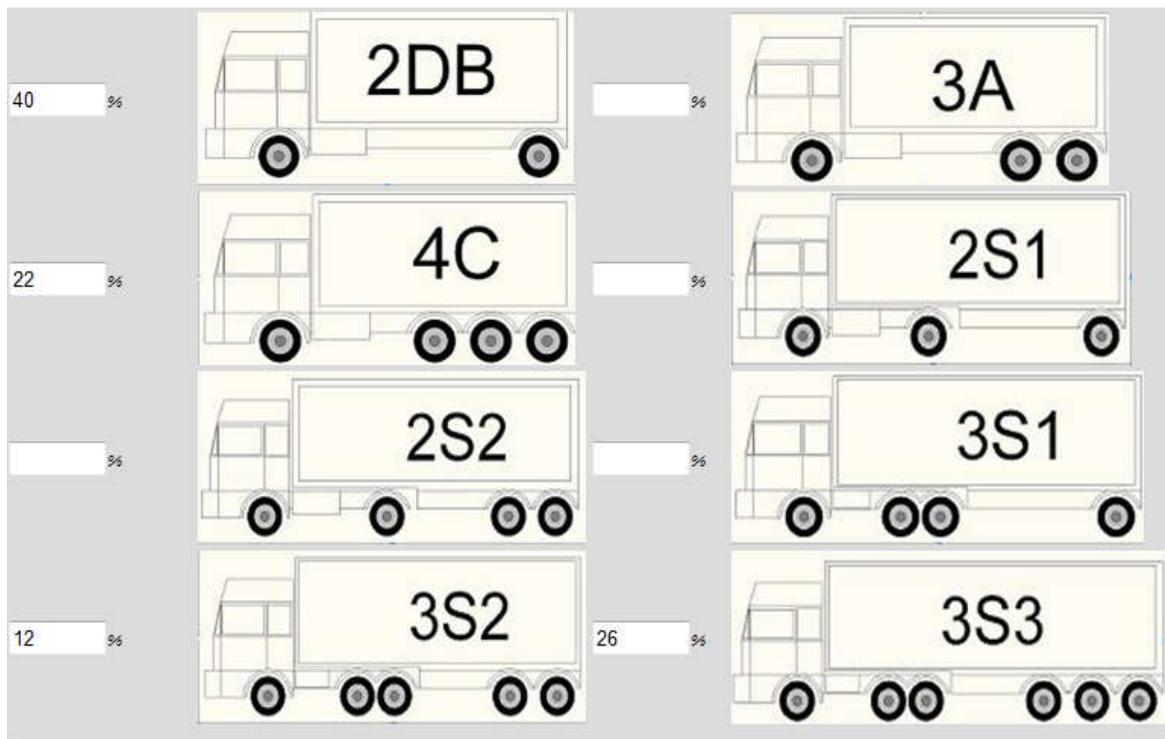
El estudio de tránsito ha determinado un TPDA actual de 8000 vehículos en ambas direcciones, de los cuales el 6% son camiones. Se ha estimado que el carril de diseño soportará el 45% de los camiones, habiéndose obtenido del registro de estación de control de pesos que el 40% son camiones 2DB, el 22% camiones 4C, 12% camiones 3S2 y 26% camiones 3S3. Además, el análisis de tránsito futuro indica un crecimiento de 2.5 % para el año de proyecto, que será luego de transcurrir 15 años.



Además una confiabilidad de 90% y una desviación estándar de 0.45, se espera que la calidad de la construcción sea tal que el índice de servicio inicial (po) sea 4.2 y se ha seleccionado un índice final (pt) de 2.0, lo que implica una pérdida total  $\Delta PSI = 4.2 - 2.0 = 2.2$ , el suelo de subrasante presenta, bajo condiciones de humedad y densidad esperadas, un CBR = 5%, los materiales disponibles para la construcción de las capas de subbase y base granular tiene CBR de 25% y 80% a los niveles de construcción exigidos por las especificaciones.

Para la temperatura media de la zona del proyecto (15°C), se estima que el módulo elástico del concreto asfáltico sea 24607.44 kg/cm<sup>2</sup>.

En relación con el drenaje, y considerando lo ya expuesto, se puede tomar un tiempo de drenaje de 1 día y un % de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación de 4%.



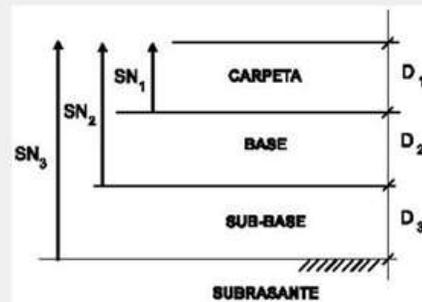


8000	TPDA	6 %	DE CAMIONES
45	% DE RESISTENCIA	15 años	PERIODO DE DISEÑO
0,45	DESVIACIÓN ESTANDAR	4,2	INDICE DE SERVICIO INICIAL
2,5 %	CRECIMIENTO DE TRÁNSITO ANUAL	2	INDICE DE SERVICIO FINAL
90 %	CONFIABILIDAD	24607,44 kg/cm <sup>2</sup>	MÓDULO ELÁSTICO DEL CONCRETO ASFÁLTICO
2	NÚMERO DE CARRILES	5 %	CBR (SUBRASANTE)
TIEMPO DE DRENAJE		25 %	CBR (SUBBASE)
1 DIA	ENTRE 1% Y 5% MIN	80 %	CBR BASE GRANULAR

ANÁLISIS    LIMPIAR    EJEMPLO    AYUDA

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

3149412	W18	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES
7500	psi	MÓDULO RESILIENTE (SUBRASANTE)
13920	psi	MÓDULO DE ELASTICIDAD (SUBBASE)
3,48		TRIAXIAL DE TEXAS
0,1	a3	COEFICIENTE ESTRUCTURAL
28670	psi	MÓDULO DE ELASTICIDAD (BASE)
2,17		TRIAXIAL DE TEXAS
0,13	a2	COEFICIENTE ESTRUCTURAL
4	SN	VOLUMEN ESTRUCTURAL (SUBRASANTE)



SN1= 2,34    SN2= 0,9    SN3= 0,8  
D1= 6    D2= 6    D3= 7

15,24	cm	ESPESOR DEL CONCRETO ASFÁLTICO
15,24	cm	ESPESOR DE BASE GRANULAR/B.T.C./B.T.A.
17,78	cm	ESPESOR DE SUBBASE GRANULAR



## CAPÍTULO V



## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del estudio y la implementación de la herramienta “Diseño de Pavimentos flexibles” y con base en los objetivos planteados y revisados en el capítulo uno que sirvieron como meta en el desarrollo de la presente tesis, se ha podido llegar a obtener las siguientes conclusiones y recomendaciones.

### CONCLUSIONES

- Esta valiosa herramienta, sin duda permitirá mejorar los conocimientos de profesionales y estudiantes, introduciéndolos a la Guía de Diseño AASHTO-93, además de brindar mayores facilidades para el diseño de pavimentos con mayor precisión y obviando el uso de ábacos y tablas a fin de que los profesionales se concentren en la optimización y no en los procedimientos de cálculo.
- Se ha logrado desarrollar una herramienta que permite el diseño de pavimentos flexibles por el método AASHTO-93 para su respectiva implementación en el LABORATORIO VIRTUAL DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA.
- En la comprobación manual se determinó que se obtuvieron los mismos resultados con respecto a los ejes equivalentes y al espesor de las capas del pavimento, demostrando la confiabilidad del software.
- La herramienta de diseño de pavimentos flexibles por el método AASHTO-93 permitirá mejorar los métodos de enseñanza - aprendizaje relacionado con los pavimentos.
- Esta herramienta reduce el tiempo de cálculo de una manera más eficaz y rápida al momento de diseñar pavimentos flexibles.
- Este software servirá como base para futuras investigaciones en las que se podrá tener una mayor confiabilidad en los modelos que tratan de representar el comportamiento del pavimento ante sollicitaciones de carga y clima.



---

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar sobre otros métodos relacionados con el cálculo de pavimentos y realizar una comparación entre ellos para determinar de cual obtendremos resultados más confiables.
- Esta herramienta solo considera el cálculo de pavimentos flexibles por lo que se recomienda que se incorpore el cálculo de pavimentos rígidos.
- Se recomienda que antes de utilizar la herramienta se lea el manual, y se siga el procedimiento conforme a lo indicado para evitar futuros problemas en los resultados.
- No modificar los valores tanto índice de servicio final como del índice de servicio inicial ya que estos valores son utilizados especialmente en el diseño de un pavimento flexible optimo y al ser modificados estos pueden variar en gran cantidad el valor de los espesores de las capas del pavimento.
- Tener mucho cuidado al ingresar el TPDA puesto que para este dato se necesita el valor total actual de vehículos que transitan en ambas direcciones.



## CAPÍTULO VI



---

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MONTEJO, Alfonso. 2006. "Ingeniería de pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño", Panamericana Formas e Impresos, S.A., Tomo I, Bogotá.
- MELCHOR, José. 2009. "DISEÑO Y EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES", UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, Lima - Perú.
- MONTEJO, Alfonso. 2001. "Ingeniería de pavimentos para carreteras", Panamericana Formas e Impresos, S.A., Universidad Católica de Colombia. Bogotá.
- RODOLFO TÉLLEZ GUTIÉRREZ, PAUL GARNICA ANGUAS, ALFONSO RICO RODRIGUEZ. 1998. Instituto Mexicano del Transporte. "Pavimentos flexibles: Problemática, metodologías de diseño y tendencias.", México D.F.
- SOLMINIHAC, Hernán. 2005. "Gestión de Infraestructura Vial. 3ra Edición", ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V., México D.F.
- SABOGAL, Fernando. 1992. "Pavimentos". Universidad La Gran Colombia. Tomo I. Bogotá.
- ZAGACETA GUTIERREZ IVAN, ROMERO ORDOÑEZ RAMIRO. 2008. "El pavimento de concreto hidráulico premezclado". Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, México D.F.
- CORONADO, Jorge. 2002. "Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos". Guatemala.



---

## LINKS

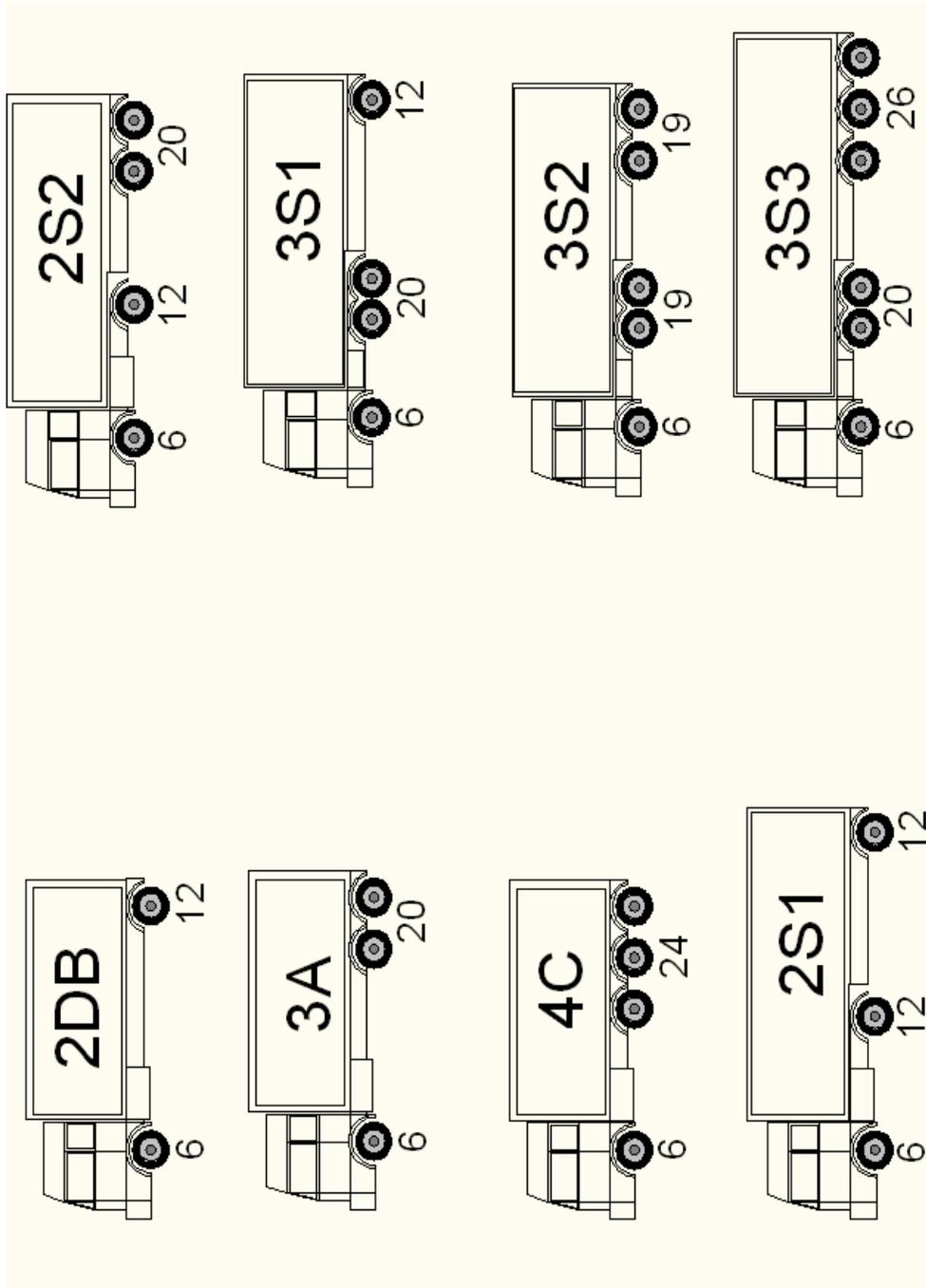
- Eduardo Castelán Sayago, Tesis Trazo y Construcción de una Carretera, <http://caminos.construaprende.com/entrada/Tesis1/index.php>. Activa
- Ing. M.Eng. Jorge Timaná Rojas, Universidad de Piura, Diseño Estructural *basado en la guía para el diseño estructural de pavimentos Aashto 1993*, [http://www.ing.udep.edu.pe/civil/material/vial/Quinto%20Trimestre/PAV/Jorge%20Timan%E1/I%20Introducci%F3n%20al%20dise%F1o%20estructural%20\(2\).ppt](http://www.ing.udep.edu.pe/civil/material/vial/Quinto%20Trimestre/PAV/Jorge%20Timan%E1/I%20Introducci%F3n%20al%20dise%F1o%20estructural%20(2).ppt). Activa
- Grupo Obras Civiles, Temario de caminos 2, <http://icc.ucv.cl/obrasviales/docencia/pavimentos%20flexibles.htm>. Activa



## ANEXOS I



**Figura 1**  
**CUADRO DEMOSTRATIVO DE CARGAS UTILES PERMISIBLES**



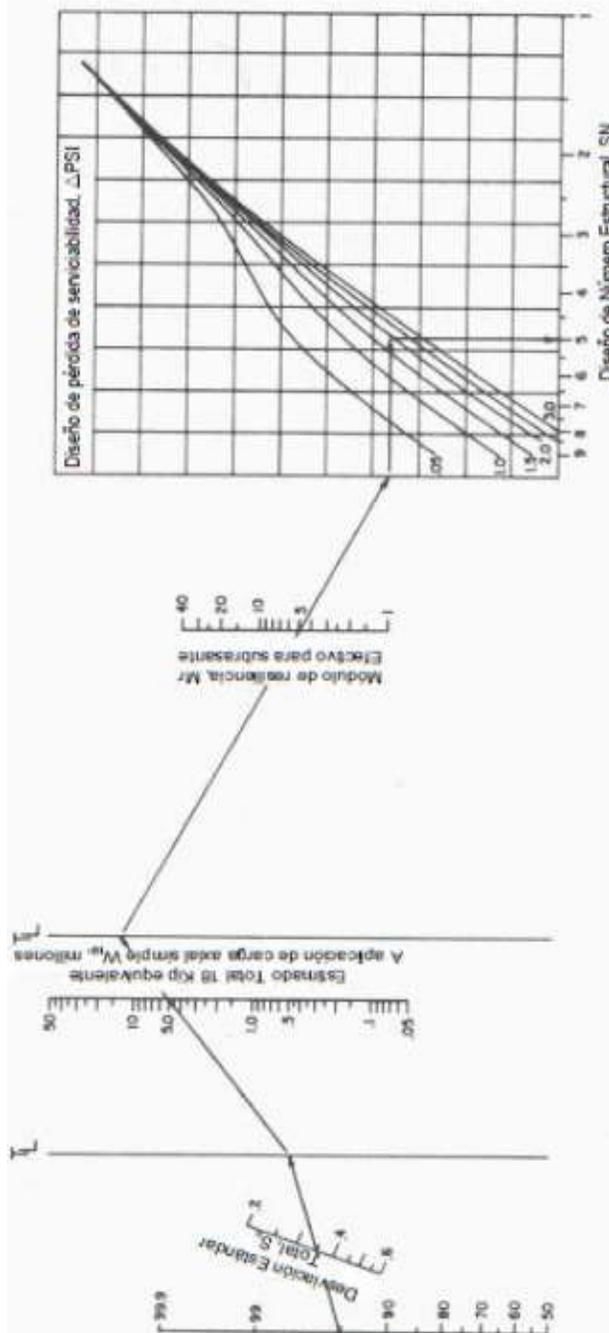
FUENTE: ZURITA Eduardo. 1999. DIRECCIÓN DE MANTENIMIENTO VIAL; DEPARTAMENTO DE PESOS, MEDIDAS Y PEAJES.



**Figura 2**  
**GRÁFICA DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE.**

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{1094} + 2.32 \times \log_{10} M_R - 8.07$$

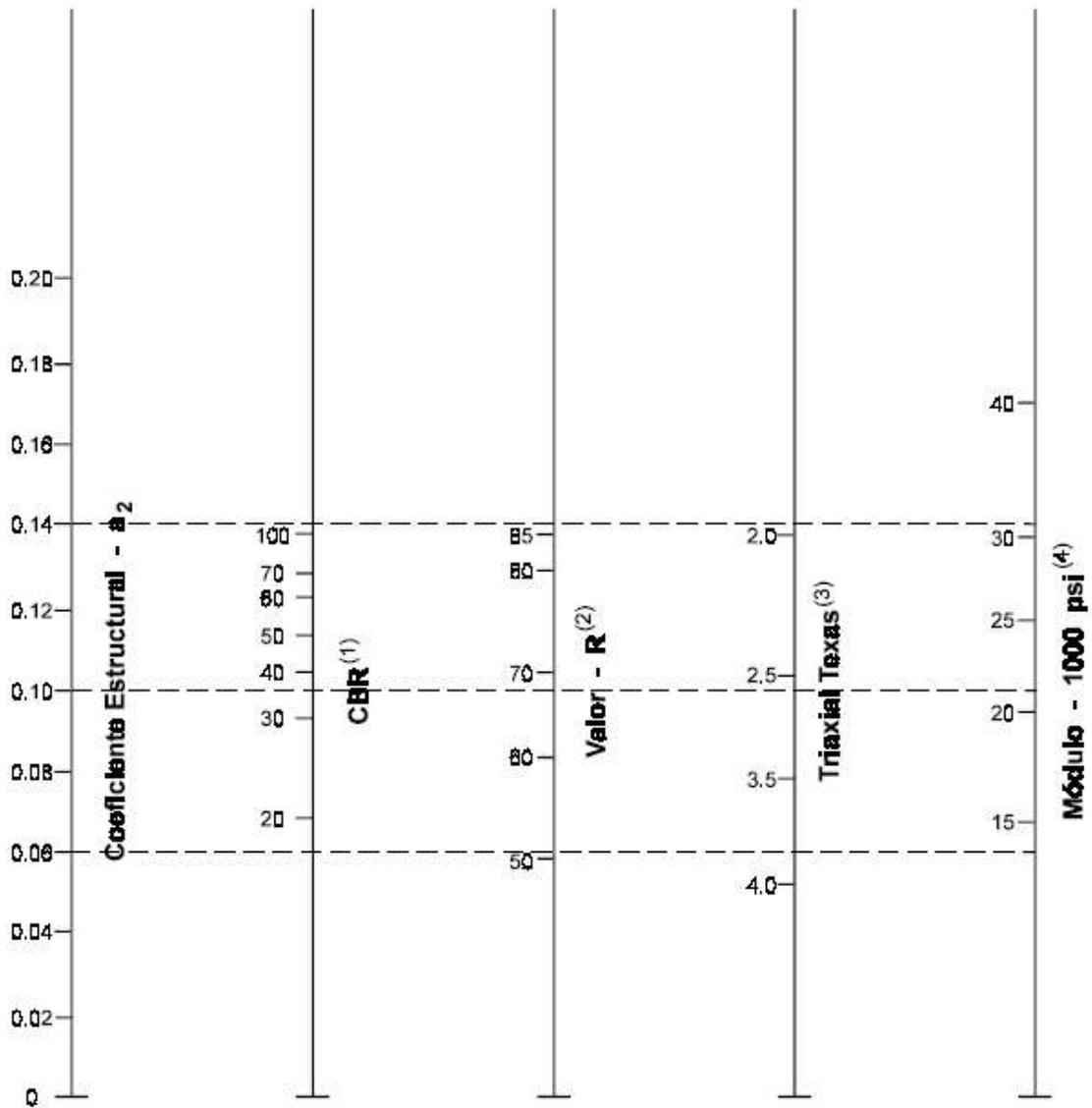
$$0.40 + \frac{1}{(SN + 1)^{5.19}}$$



**FUENTE:** AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.



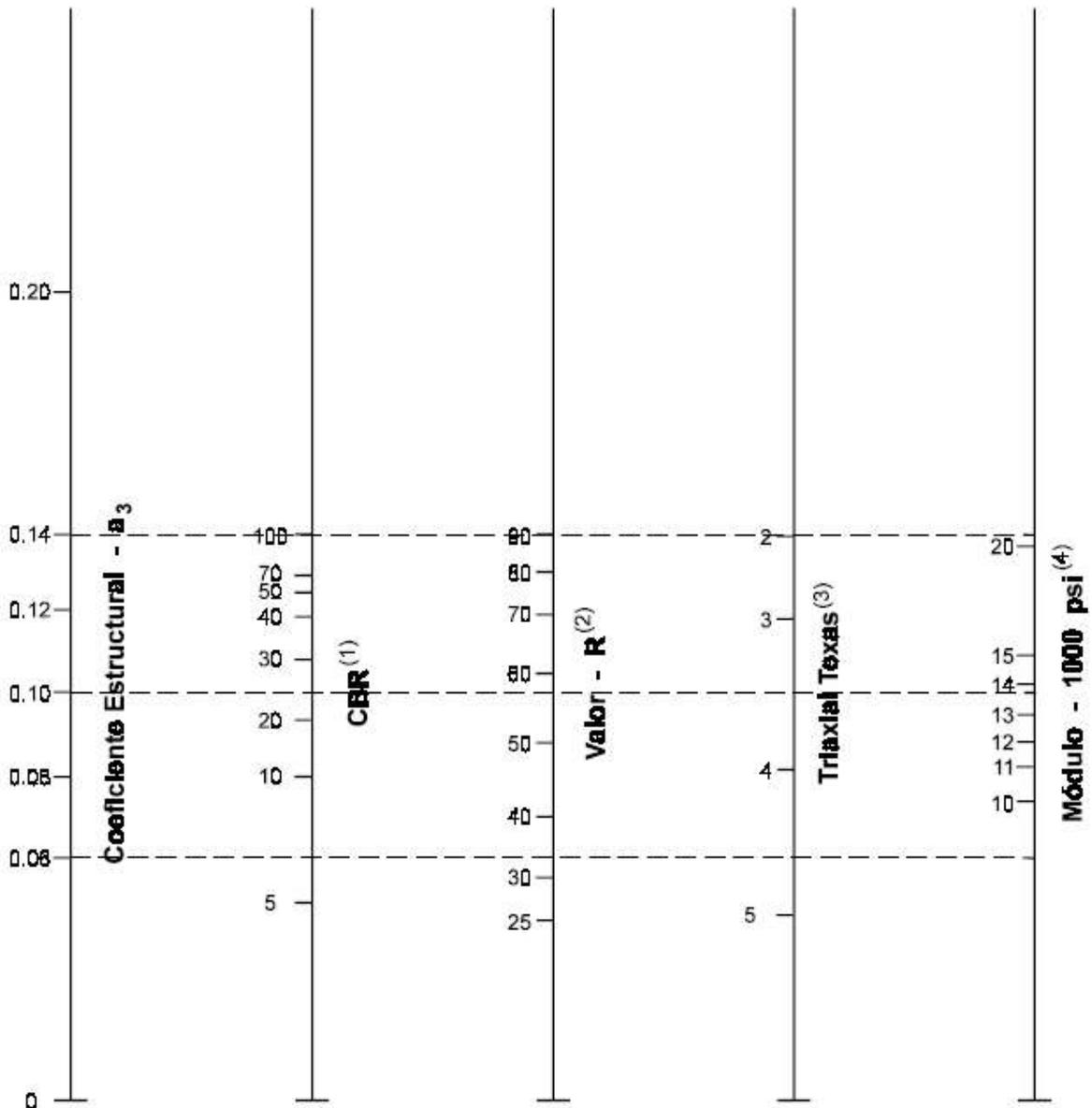
**Figura 3**  
**VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA "a2", EN BASES GRANULARES.**



FUENTE: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.



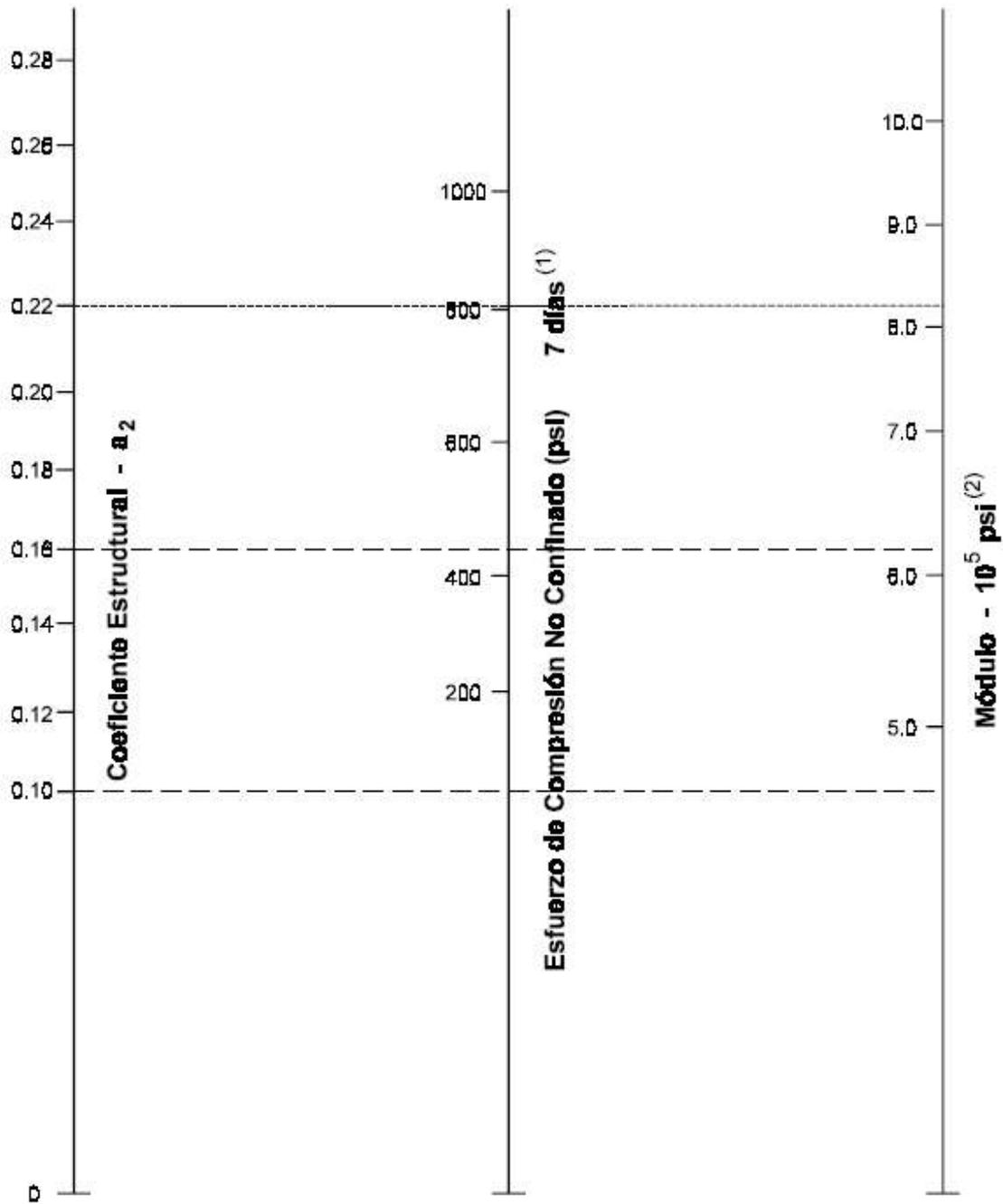
**Figura 4**  
**VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA "a3", EN SUBBASES GRANULARES.**



FUENTE: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.



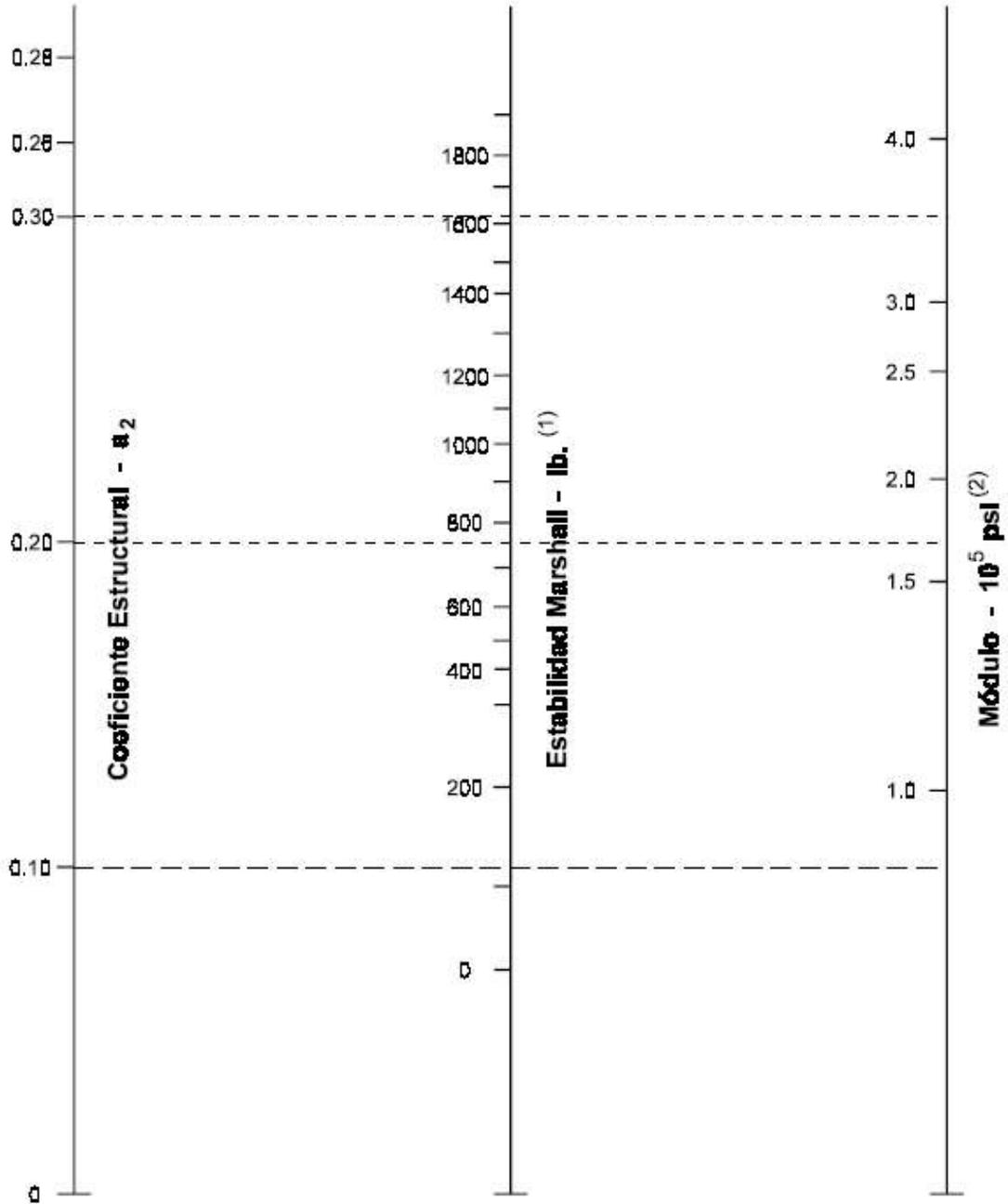
**Figura 5**  
**VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA "a2", EN BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO PORTLAND.**



FUENTE: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.



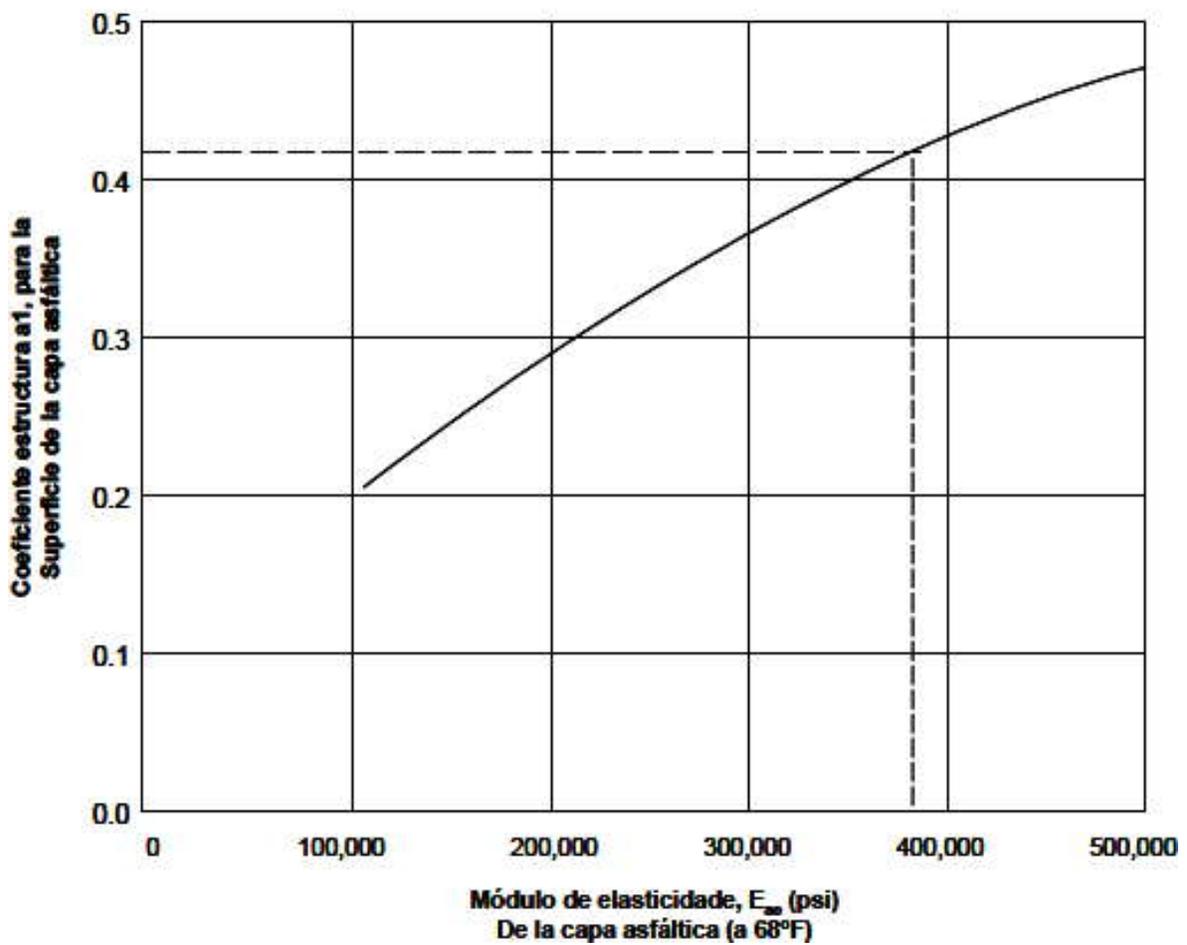
**Figura 6**  
**VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA "a2", EN BASES ESTABILIZADAS CON ASFALTO.**



FUENTE: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.



**Figura 7**  
**GRÁFICA PARA HALLAR “a1”, EN FUNCIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DEL CONCRETO ASFÁLTICO.**



FUENTE: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.



## ANEXOS II



**Tabla 1**

<b>Número de Carriles</b>	<b>Porcentaje de vehículos pesados en el carril de diseño</b>
2	50
4	45
6+	40

**FUENTE:** AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.

### FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

**Tabla 2**

<b>Carga</b>	<b>ejes simples</b>					
<b>p/eje</b>	<b>Número estructural SN</b>					
<b>(kips)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
2	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002
6	0.011	0.017	0.017	0.013	0.01	0.009
8	0.032	0.047	0.051	0.041	0.034	0.031
10	0.078	0.102	0.118	0.102	0.088	0.08
12	0.168	0.198	0.229	0.213	0.189	0.176
14	0.328	0.358	0.399	0.388	0.36	0.342
16	0.591	0.613	0.646	0.645	0.623	0.606
18	1	1	1	1	1	1
20	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.3
24	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
26	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
28	7.49	6.98	5.9	5.21	5.39	5.98

→ sigue



—————> viene

30	10.3	9.5	7.9	6.8	7	7.8
32	13.9	12.8	10.5	8.8	8.9	10
34	18.4	16.9	13.7	11.3	11.2	12.5
36	24	22	17.7	14.4	13.9	15.5
38	30.9	28.3	22.6	18.1	17.2	19
40	39.3	35.9	28.5	22.5	21.1	23
42	49.3	45	35.6	27.8	25.6	27.7
44	61.3	55.9	44	34	31	33.1
46	75.5	68.8	54	41.4	37.2	39.3
48	92.2	83.9	65.7	50.1	44.5	46.5
50	112	102	79	60	53	55

Tabla 3

Carga p/eje (kips)	ejes tándem					
	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0001	0.0001	0.0001	0	0	0
4	0.0005	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003	0.0002
6	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
8	0.004	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003
10	0.008	0.013	0.011	0.009	0.007	0.006
12	0.015	0.024	0.023	0.018	0.014	0.013
14	0.026	0.041	0.042	0.033	0.027	0.024
16	0.044	0.065	0.07	0.057	0.047	0.043
18	0.07	0.097	0.109	0.092	0.077	0.07
20	0.107	0.141	0.162	0.141	0.121	0.11
22	0.16	0.198	0.229	0.207	0.18	0.166
24	0.231	0.273	0.315	0.292	0.26	0.242
26	0.327	0.37	0.42	0.401	0.364	0.342
28	0.451	0.493	0.548	0.534	0.495	0.47

—————> sigue



—————> viene

30	0.611	0.648	0.703	0.695	0.658	0.633
32	0.813	0.843	0.889	0.887	0.857	0.834
34	1.06	1.08	1.11	1.11	1.09	1.08
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.73	1.69	1.68	1.7	1.73
40	2.21	2.16	2.06	2.03	2.08	2.14
42	2.76	2.67	2.49	2.43	2.51	2.61
44	3.41	3.27	2.99	2.88	3	3.16
46	4.18	3.98	3.58	3.4	3.55	3.79
48	5.08	4.8	4.25	3.98	4.17	4.49
50	6.12	5.76	5.03	4.64	4.86	5.28
52	7.33	6.87	5.93	5.38	5.63	6.17
54	8.72	8.14	6.95	6.22	6.47	7.15
56	10.3	9.6	8.1	7.2	7.4	8.2
58	12.1	11.3	9.4	8.2	8.4	9.4
60	14.2	13.1	10.9	9.4	9.6	10.7
62	16.5	15.3	12.6	10.7	10.8	12.1
64	19.1	17.6	14.5	12.2	12.2	13.7
66	22.1	20.3	16.6	13.8	13.7	15.4
68	26.3	23.3	18.9	15.6	15.4	17.2
70	29	26.6	21.5	17.6	17.2	19.2
72	33	30.3	24.4	19.8	19.2	21.3
74	37.5	34.4	27.6	22.2	21.3	23.6
76	42.5	38.9	31.1	24.8	23.7	26.1
78	48	43.9	35	27.8	26.2	28.8
80	54	49.4	39.2	30.9	29	31.7
82	60.6	55.4	43.9	34.4	32	34.8
84	67.8	61.9	49	38.2	35.3	38.1
86	75.7	69.1	54.5	42.3	38.8	41.7
88	84.3	76.9	60.6	46.8	42.6	45.6
90	93.7	85.4	67.1	51.7	46.8	49.7



Tabla 4

Carga p/eje (kips)	ejes tridem					
	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0	0	0	0	0	0
4	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0006	0.0007	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003
8	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
10	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002
12	0.005	0.007	0.006	0.004	0.003	0.003
14	0.008	0.012	0.01	0.008	0.006	0.006
16	0.012	0.019	0.018	0.013	0.011	0.01
18	0.018	0.029	0.028	0.021	0.017	0.016
20	0.027	0.042	0.042	0.032	0.027	0.024
22	0.038	0.058	0.06	0.048	0.04	0.036
24	0.053	0.078	0.084	0.068	0.057	0.051
26	0.072	0.103	0.114	0.095	0.08	0.072
28	0.098	0.133	0.151	0.128	0.109	0.099
30	0.129	0.169	0.195	0.17	0.145	0.133
32	0.169	0.213	0.247	0.22	0.191	0.175
34	0.219	0.266	0.308	0.281	0.246	0.228
36	0.279	0.329	0.379	0.352	0.313	0.292
38	0.352	0.403	0.461	0.436	0.393	0.368
40	0.439	0.491	0.554	0.533	0.487	0.459
42	0.543	0.594	0.661	0.644	0.597	0.567
44	0.666	0.714	0.781	0.769	0.723	0.692
46	0.811	0.854	0.918	0.911	0.868	0.838
48	0.979	1.015	1.072	1.069	1.033	1.005
50	1.17	1.2	1.24	1.25	1.22	1.2
52	1.4	1.41	1.44	1.44	1.43	1.41
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.93	1.9	1.9	1.91	1.93

————> sigue



—————> viene

58	2.29	2.25	2.17	2.16	2.2	2.24
60	2.67	2.6	2.48	2.44	2.51	2.58
62	3.09	3	2.82	2.76	2.85	2.95
64	3.57	3.44	3.19	3.1	3.22	3.36
66	4.11	3.94	3.61	3.47	3.62	3.81
68	4.71	4.49	4.06	3.88	4.05	4.3
70	5.38	5.11	4.57	4.32	4.52	4.84
72	6.12	5.79	5.13	4.8	5.03	5.41
74	6.93	6.54	5.74	5.32	5.57	6.04
76	7.84	7.37	6.41	5.88	6.15	6.71
78	8.83	8.28	7.14	6.49	6.78	7.43
80	9.92	9.28	7.95	7.15	7.45	8.21
82	11.1	10.4	8.8	7.9	8.2	9
84	12.4	11.6	9.8	8.6	8.9	9.9
86	13.8	12.9	10.8	9.5	9.8	10.9
88	15.4	14.3	11.9	10.4	10.6	11.9
90	17.1	15.8	13.2	11.3	11.6	12.9

**FUENTE:** AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.

### PERÍODOS DE DISEÑO

**Tabla 5**

Tipo de Carretera	Período de Diseño
Autopista Regional	20 – 40 años
Troncales suburbanas	15 – 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	10 – 20 años
Colectoras Rurales	

**FUENTE:** CORONADO ITURBIDE, Jorge: "Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos", 2002.



### FACTOR DE CRECIMIENTO

Tabla 6

Periodo de Diseño	FACTOR DE CRECIMIENTO							
	TASA ANUAL DE CRECIMIENTO, PORCENTAJE							
años (n)	Sin crecimiento	2	4	5	6	7	8	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2,02	2,04	2,05	2,06	2,07	2,08	2,1
3	3	3,06	3,12	3,15	3,18	3,21	3,25	3,31
4	4	4,12	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,64
5	5	5,2	5,42	5,53	5,64	5,75	5,87	6,11
6	6	6,31	6,63	6,8	6,98	7,15	7,34	7,72
7	7	7,43	7,9	8,14	8,39	8,65	8,92	9,49
8	8	8,58	9,21	9,55	9,9	10,26	10,64	11,44
9	9	9,75	10,58	11,03	11,49	11,98	12,49	13,58
10	10	10,9	12,01	12,58	13,18	13,82	14,49	15,94
11	11	12,2	13,49	14,21	14,97	15,78	16,65	18,53
12	12	13,4	15,03	15,92	16,87	17,89	18,98	20,38
13	13	14,7	16,63	17,71	18,88	20,14	20,5	24,52
14	14	15,9	18,29	19,6	21,02	22,55	24,21	27,97
15	15	17,2	20,02	21,58	23,28	25,13	27,15	31,77
16	16	18,6	21,82	23,66	25,67	27,89	30,32	35,95
17	17	20,0	23,7	25,84	28,21	30,84	33,75	40,54
18	18	21,4	25,65	28,13	30,91	34	37,45	45,6
19	19	22,9	27,67	30,54	33,76	37,38	41,45	51,16
20	20	24,3	29,78	33,07	36,79	41	45,76	57,27
25	25	32,3	41,65	47,73	54,86	63,25	73,11	98,35
30	30	40,6	56,08	66,44	79,06	94,46	113,28	164,49
35	35	49,9	73,65	90,32	111,43	138,24	172,32	271,02
40	40	60,4	95,03	120,8	154,76	199,64	259,06	442,59
50	50	84,6	152,67	209,35	290,34	406,53	573,77	

FUENTE: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.



**Tabla 7**

Ejes tipo	Ton.	Lib.	Kips.
S	6	13224	13.22
S	12	26448	26.45
D	19	41876	41.88
D	20	44080	44.08
T	24	52896	52.9
T	26	57304	57.3

**FUENTE:** AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.

### NIVELES DE CONFIABILIDAD R EN FUNCIÓN DEL TIPO DE CARRETERA

**Tabla 8**

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras de Tránsitos	80 - 95	75 - 95
Carreteras locales	50 - 80	50 - 80

**FUENTE:** AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.

### DESVIACIÓN ESTÁNDAR

**Tabla 9**

<b>El conjunto total de las desviaciones estándar (So) se recomienda utilizar los valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:</b>
Para pavimentos flexibles 0.40 - 0.50 (se recomienda 0.45)
En sobre-capas 0.50

**FUENTE:** CORONADO ITURBIDE, Jorge: "Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos", 2002.



### ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD

Tabla 10

<b>Serviciabilidad inicial.</b>
Po = 4.5 para pavimentos rígidos
Po = 4.3 para pavimentos flexibles
<b>Serviciabilidad final.</b>
Pt = 2.5 ó más para caminos principales
Pt = 2.0 para caminos de tránsito menor

FUENTE: CORONADO ITURBIDE, Jorge: "Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos", 2002.

### VALORES DE "mi"

Tabla 11

Calidad de drenaje	<i>% de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación</i>						
	<i>menores a 1</i>		<i>entre 1 y 5</i>		<i>entre 5 y 25</i>		<i>mayores a 25</i>
	<i>máx</i>	<i>min</i>	<i>máx</i>	<i>min</i>	<i>máx</i>	<i>min</i>	
<b>excelente(2horas)</b>	1,4	1,35	1,35	1,3	1,3	1,2	1,2
<b>bueno(1dia)</b>	1,35	1,25	1,25	1,15	1,15	1	1
<b>aceptable(1semana)</b>	1,25	1,15	1,15	1,05	1,05	0,8	0,8
<b>pobre(1mes)</b>	1,15	1,05	1,05	0,8	0,8	0,6	0,6
<b>muy pobre(no drena)</b>	1,05	0,95	0,95	0,75	0,75	0,4	0,4

FUENTE: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.

### ESPEORES MÍNIMOS SUGERIDOS

Tabla 12

Número de ESAL's			Capas Asfálticas		Base Granular	
Menos	de	50,000	3	cm	10	cm
50,000	-	150,000	5	cm	10	cm
150,000	-	500,000	6.5	cm	10	cm
500,000	-	2,000,000	7.5	cm	15	cm
2,000,000	-	7,000,000	9	cm	15	cm
Más	de	7,000,000	10	cm	15	cm

FUENTE: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.



**Tabla 13**

Caso	Tasa de crecimiento		
	Crecimiento Normal	1%	a
Vías Completamente Saturadas	0%	a	1%
Con tráfico inducido*	4%	a	5%
Alto crecimiento*	mayor	al	5%

\*solamente durante 3 a 5 años

FUENTE: Concretos CEMEX.

**Tabla 14**

Confiabledad	Desviación Estándar
R (%)	Normal(Zr)
50	0
55	-0,1265
60	-0,253
65	-0,3885
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
95	-2,517
99,99	-3,75