



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Ingeniería Vial

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS SOBRECARGAS DEL TRANSPORTE PESADO  
EN LA PERDIDA DE SERVICIABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO, POR  
MEDIO DE LOS FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA POR TIPO DE EJE**

**Ing. Luis Enrique Velásquez Calderón**

Asesorado por el Msc. Ing. Carlos Arnoldo Morales Rosales

Guatemala, mayo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS SOBRECARGAS DEL TRANSPORTE PESADO  
EN LA PERDIDA DE SERVICIABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO, POR  
MEDIO DE LOS FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA POR TIPO DE EJE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

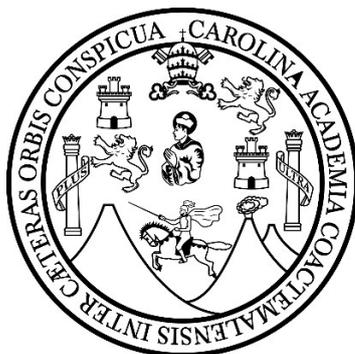
POR

ING. LUIS ENRIQUE VELÁSQUEZ CALDERÓN  
ASESORADO POR EL Msc. ING. CARLOS ARNOLDO MORALES ROSALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**MAESTRO EN INGENIERÍA VIAL**

GUATEMALA, MAYO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jorgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos.
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Ing. Neri Armando Nájera Argueta
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS SOBRECARGAS DEL TRANSPORTE PESADO EN LA PÉRDIDA DE SERVICIABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO, POR MEDIO DE LOS FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA POR TIPO DE EJE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrado, con fecha junio de 2013.

**Ingeniero Luis Enrique Velásquez Calderón**



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios:** Por sus bendiciones a mi vida, él ha sido mi guía, por seguir sus pasos he llegado a ser lo que soy, y a él le debo el permitirme concluir esta meta.
- Mis padres:** Odilia Calderón y Luis Velásquez. Por su amor y consejos, que me han servido para alcanzar mis objetivos.
- Mis hermanos:** Jennifer, Linda, Shirly y Samuel. Por apoyarme incondicionalmente, por creer en mí y estar a mi lado en cada logro.
- Mis amigas:** Fernanda Barrios y Karina Navarajo. Por su apoyo y compañía durante dos años de estudios.
- Ing. Carlos Morales:** Por sus enseñanzas que han sido de beneficio para mi vida profesional y por su apoyo durante el proceso de asesoramiento en este trabajo.

## AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San  
Carlos de Guatemala

Por ser la casa de estudios en la que me  
formé como profesional.

La Escuela de Estudios de  
Postgrado de la Facultad de  
Ingeniería

Por otorgarme la especialización  
profesional.



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

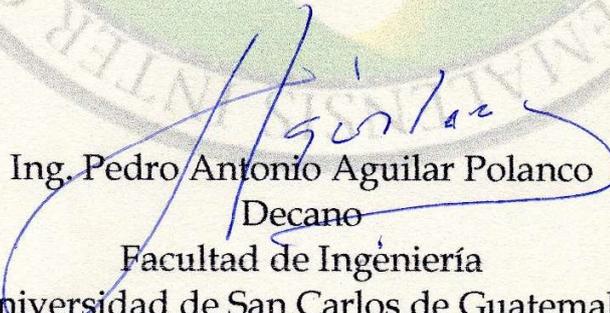
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-005

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Ingeniería Vial titulado: ***"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS SOBRECARGAS DEL TRANSPORTE PESADO EN LA PERDIDA DE SERVICIABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO, POR MEDIO DE LOS FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA POR TIPO DE EJE"*** presentado por el Ingeniero Civil Luis Enrique Velásquez Calderón, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, marzo de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Costeable, Ingeniería en el Desarrollo Municipal, Escuelas de la Ingeniería de Guatemala



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-005

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Ingeniería Vial del Trabajo de Graduación titulado **"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS SOBRES CARGAS DEL TRANSPORTE PESADO EN LA PERDIDA DE SERVICIABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO, POR MEDIO DE LOS FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA POR TIPO DE EJE"** presentado por el Ingeniero Civil Luis Enrique Velásquez Calderón, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

MSc. Ing. Armando Fuentes Roca  
Coordinador de Maestría

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala





FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-005

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS SOBRECARGAS DEL TRANSPORTE PESADO EN LA PERDIDA DE SERVICIABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO, POR MEDIO DE LOS FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA POR TIPO DE EJE"** presentado por el Ingeniero Civil Luis Enrique Velásquez Calderón, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Ingeniería Vial; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*



MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Director

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XIII
ANTECEDENTES.....	XV
JUSTIFICACIÓN.....	XVII
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	XIX
MARCO TEÓRICO.....	XXIII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 Datos para el cálculo de ejes equivalentes.....	1
1.2. Índice de serviciabilidad.....	1
1.3. Factor de distribución por dirección.....	4
1.4. Factor de distribución por carril.....	5
1.5. Desviación estándar.....	6
1.6. Confiabilidad.....	7
2. MARCO LEGAL.....	9
2.1. Artículo 2o.....	9
2.2. Artículo 3º.....	14
2.3. Artículo 4º.....	15

2.4. Artículo 5°.....	15
2.5. Artículo 12°.....	18
2.6. Artículo 13°.....	18
2.7. Artículo 14°.....	19
2.8. Artículo 18°.....	19
<b>3. CÁLCULO DE LOS FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA Y FACTORES CAMIÓN. ....</b>	<b>21</b>
3.1. Ejemplo de cálculo de factores equivalentes de carga.....	21
3.2. Cálculo de factores equivalentes de carga y factor camión con un aumento del 25 % y 35 % en el peso permitido. ....	24
3.3. Cálculo de los factores camión por cada tipo de vehículo pesado con el 0 %, 25 % y 35 % de sobrecarga. ....	29
<b>4. ANÁLISIS TRAMO SIQUINALÁ – COCALES .....</b>	<b>35</b>
4.1. Conteo vehicular tramo Siquinalá – Cocales.....	35
4.2. Ejes equivalentes de carga (ESAL's).....	39
4.3. Cálculo de los números estructurales. ....	43
4.4. Número estructural aportado por la estructura actualmente existente en el tramo de Siquinalá – Cocales. ....	47
4.5. Análisis de resultados. ....	49
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Vehículo tipo C-2 y sus cargas reglamentarias.....	22
2. Resultados de FEC y FC para un vehículo tipo C-2. ....	24
3. Vehículo tipo C-2 y sus cargas reglamentarias aumentadas un 25 %. ....	25
4. Resultados de FEC y FC para un vehículo tipo C-2 con 25 % de sobre peso. .....	25
5. Resultados de FC para 0 % y 25 % de sobre peso. ....	26
6. Vehículo tipo C-2 y sus cargas reglamentarias aumentadas un 35 %. ....	26
7. Resultados de FEC y FC para un vehículo tipo C-2 con 5 % de sobre peso	27
8. Línea de tendencia del crecimiento del factor camión para un vehículo tipo C- 2 con sobrepesos de 0 % al 50 %.....	29
9. Gráfica comparativa del crecimiento de los valores de factor camión para vehículos pesado, con un sobrepeso del 0 %, 25 % y 35 %.....	33
10. Gráfica de valores obtenidos de ESAL's para un 0 %, 25 % y 35 % de sobrepeso. ....	43
11. Cálculo del SN para un sobrepeso del 0 % .....	44
12. Cálculo del SN para un sobrepeso del 25 % .....	45
13. Cálculo del SN para un sobrepeso del 35 % .....	45
14. Gráfica SN vs ESAL's .....	46
15. Estructura de pavimento existente en el tramo de Siquinalá – Cocales .....	47
16. Valor de ESAL's según el número estructural aportado por la estructura....	50
17. Valores de ESAL's de diseño para 6,7,8,9 y 10 años para un sobrepeso de 25%.....	52

18. Valores de ESAL's de diseño para 3,4,5,6 y 7 años para un sobrepeso de 35 %.....	54
19. Pérdida de vida útil en años, según el sobre peso en el transporte pesado.....	55

## TABLAS

I. Límite de peso por eje.....	XXIV
II. Factores de crecimiento de tránsito.....	XXIV
III. Cuadro para conteo vehicular. ....	XXVII
IV. Descripción de las características de una carretera, según su nivel de servicio.....	XXIX
V. Ejemplo para calcular el equivalente de 18 Kips en carga de ejes simples.....	3
VI. Factor de distribución por dirección .....	5
VII. Factor de distribución por carril .....	6
VIII. Desviaciones estándar recomendadas .....	6
IX. Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera .....	7
X. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt=2.5 .....	23
XI. FC para sobrepesos de 0 % al 50 % .....	28
XII. Cuadro para recopilación de datos del conteo vehicular .....	35
XIII. Cuadro de conteo (muestra) .....	36
XIV. Tránsito promedio diario anual .....	37
XV. Resumen Tránsito Promedio Diario Anual ruta Siquinalá - Cocales .....	38
XVI. Porcentaje de vehículos pesados.....	39
XVII. Ejes equivalentes de carga ESAL's tramo Siquinalá – Cocales para pesos reglamentarios. ....	40
XVIII. Ejes equivalentes de carga ESAL's tramo Siquinalá – Cocales para sobrepesos del 25 % en transporte pesado. ....	41

XIX. Ejes equivalentes de carga ESAL's tramo Siquinalá – Cocales, para sobrepesos del 35 % en transporte pesado. ....	42
XX. Números estructurales requeridos según los ESAL's de diseño.....	46
XXI. Valores de coeficiente de capa y drenaje .....	48
XXII. Valores de ESAL's de diseño para 6,7,8,9 y 10 años, para un sobrepeso de 25 %.....	51
XXIII. Valores de ESAL's de diseño para 3,4,5,6 y 7 años, para un sobrepeso de 35 %.....	53



## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	Asociación Americana de Carreteras del Estado y Funcionarios de Transporte ( <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> ).
<b>ESAL</b>	Ejes equivalentes simples ( <i>Equivalent Single Axle</i> ).
<b>ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD</b>	En inglés <i>Present Serviceability Index</i> , AASHTO lo define como un número abstracto que representa la capacidad de un pavimento de servir al tipo de tránsito de diseño, varía en escala desde 5 perfecto, hasta 0 intransitable.
<b>IRI</b>	Índice Internacional de Rugosidad, ( <i>International Roughness Index</i> ).
<b>LEF</b>	Factor de equivalencia de carga ( <i>Load Equivalency Factor</i> ).
<b>TPDA</b>	Tránsito promedio diario anual.
<b>TRÁNSITO</b>	Es el número de vehículos que circulan por una carretera en un período de tiempo dado.

<b>VEHÍCULO TIPO C-2</b>	Es un camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje de rueda doble (eje de tracción).
<b>VEHÍCULO TIPO C-3</b>	Es un camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje doble o Tándem (eje de tracción).
<b>AFORO</b>	Es el conteo de vehículos o muestra de los volúmenes de tránsito para el período en el que se realiza.
<b>VH</b>	Volumen horario.
<b>EJE SIMPLE</b>	Es el eje que está compuesto por dos ruedas, una en cada extremo del eje.
<b>EJE DOBLE (TÁNDEM)</b>	Es el conjunto de dos ejes simples de ruedas dobles, con una separación de centros comprendida entre 1.00 y 2.45 metros.
<b>EJE TRIPLE (TRIDEM)</b>	Es el conjunto de tres ejes simples de rueda doble con una separación de sus centros comprendida entre 1.00 y 2.45 metros.

## RESUMEN

En el trabajo de graduación denominado: “Evaluación del efecto de las sobre cargas del transporte pesado en la pérdida de serviciabilidad de las estructuras de pavimento, por medio de los factores equivalentes de carga por tipo de eje” se describe de manera teórica práctica a los estudiantes, catedráticos, o diseñadores interesados, para conocer la gran influencia de las sobre cargas en la vida útil de los pavimentos.

Para dar a conocer datos prácticos, fue necesario realizar una muestra en el tramo de Siquinalá a Cocales, la cual fue de un conteo vehicular durante una semana, en el cual se contabilizaron todo tipo de transporte, tanto pesado como liviano, en este tramo se cuantificó que transita un alto porcentaje de transporte pesado, que es del 27.38 %, es por esto que es evidente el necesario control en el pesaje de este tipo de transporte.

Al dar a conocer los resultados en este tramo, se tiene un impacto en el lector, ya que se ve que es de suma importancia para los diseñadores y planificadores tomar en cuenta sobre cargas vehiculares, especialmente en el transporte pesado.

Debido a esto, el presente trabajo de graduación incluye tablas y gráficas que describen el comportamiento en el aumento de los ejes equivalentes de carga con respecto a la pérdida de serviciabilidad de la carretera, y se puede visualizar la reducción de la vida útil del tramo si se le aumenta un sobre peso de 25 % y 35 % a los vehículos que componen el transporte pesado.



## OBJETIVOS

### GENERAL

- Evaluar cómo afectan las sobre cargas vehiculares al comportamiento de los pavimentos y la pérdida de su serviciabilidad, por medio de los factores equivalentes de carga, en la estructura de pavimento tramo Siquinalá a Cocales CA-2.

### ESPECÍFICOS

1. Describir las diferencias entre la cantidad de ejes equivalentes originados por cargas reglamentadas y por sobrecargas.
2. Determinar cómo afecta la vida útil de la estructura de pavimento, la existencia de sobre cargas dentro del flujo vehicular.
3. Determinar si la estructura de pavimento existente en el tramo Siquinalá – Cocales en la CA-2 OCC soporta cargas reglamentarias y sobre cargas.



## INTRODUCCIÓN

Los pavimentos de la red vial de Guatemala están presentando fallas prematuras en su rodadura, que están reduciendo su período de vida útil considerablemente, donde existen una variedad de factores que pueden originar este mal comportamiento de las estructuras; sin embargo en este trabajo se analizará el factor del tránsito, enfocándose en cómo afecta en su desempeño la presencia de sobre cargas, en especial en el transporte pesado.

En el presente trabajo, se evalúa el efecto que producen las sobrecargas de los vehículos de transporte pesado en los pavimentos, por medio de los factores equivalentes de carga incluidos en la metodología AASHTO.

Se da evidencia que las sobre cargas vehiculares reducen considerablemente la vida útil de la carretera, utilizando como base el “Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores de carga y sus combinaciones” de la Dirección General de Caminos, año 2010, en donde se obtiene la distribución de carga por tipo de eje autorizada para cada tipo de vehículo, luego se procederá a calcular los factores equivalentes de carga para este tipo de carga reglamentada y para una sobre carga tal.

Con la información anterior, se evaluará cómo afectan estas sobre cargas tanto el desempeño de la estructura de pavimento, como a la pérdida de serviciabilidad, originando aparecimientos de fallas prematuras antes del cumplimiento de su vida útil.

Con base a este análisis, se determina que el período de vida útil de una estructura de pavimento donde actúan cargas reglamentadas, es muy distinto al período de vida útil de esa misma estructura, pero bajo efectos de sobre cargas dentro de su flujo vehicular.

Con el fin de evaluar adecuadamente los efectos de las sobrecargas en los pavimentos, el presente trabajo se divide en 4 secciones. En el capítulo 1, se documentan las generalidades con base a un marco teórico para este tipo de análisis, definiendo conceptos como factores equivalentes de carga, número estructural, estructura del pavimento, ejes equivalentes de carga, entre otros. En el capítulo 2, se documenta todo lo relacionado al aspecto legal de pesos y dimensiones que pueden transitar en Guatemala. En el capítulo 3, se determinan los factores camión para los pesos reglamentados y para estos pesos más un 25 % de sobrepeso, y en el capítulo 4, se toma para un caso práctico, un conteo vehicular realizado en el tramo Siquinalá – Cocales en la CA-2 OCC., se determinarán los factores camión reglamentados, con sobrepeso de un 25 % y 35 %, para luego determinar el período que la estructura actualmente existente soportaría, y presentar gráficos comparativos de modo que el lector pueda visualizar con más facilidad la incidencia de los sobrepesos en los pavimentos, para posteriormente dar las conclusiones y recomendaciones sobre el presente trabajo.

## **ANTECEDENTES**

A la fecha, en Guatemala es común leer en los medios de comunicación escrita que, un tramo de reciente construcción o rehabilitación, está presentando daños tempranos que repercuten en la pérdida de serviciabilidad del pavimento. Es sabido que el análisis de este tipo de fallas prematuras en las estructuras de pavimento, requiere de una variedad de estudios, debido a que el comportamiento de estas estructuras está relacionado con un gran número de parámetros, los cuales se consideraron en el diseño estructural del mismo.

Uno de estos parámetros es el tránsito vehicular, el cual de acuerdo a la limitación de infraestructura del país, no se cuenta con un control eficiente de los pesos de los vehículos de transporte pesado, esto debido a que no existen estaciones de básculas en todas las carreteras, donde predomina la circulación de estos vehículos, y en donde las hay, son fácilmente evadidas por los pilotos por medio de un sin número de acciones que se salen del control del personal a cargo de dichas oficinas.

En Guatemala existe reglamentación sobre pesos y dimensiones, sin embargo, no se cumple, ya que no existen estaciones de control para sancionar a las personas o empresas que incumplan esta regulación; por tal motivo, es común pensar que por todas las carreteras de Guatemala circulan vehículos pesados con sobre carga a la reglamentada, ocasionando el apareamiento de fallas en un tiempo menor al del período de diseño o vida útil del pavimento.

Jorge Mario Coronado Brolo (2009) hace un análisis de la infraestructura vial y el transporte, caso ruta del atlántico en donde relaciona el comportamiento

de los ESAL y el número estructural en diferentes tramos, también evalúa la relación del TPDA y los ESAL.

Alfonso Rico Rodríguez (2010) hace un análisis de los espectros de carga y daño para diseño de pavimentos, con base al número de repeticiones esperado por año calcula las deformaciones y el daño que estas le causan al pavimento. También elaboró una revisión del cumplimiento del período de diseño deseado.

Juan Ricardo Troncoso Rivera (2011) hace un análisis de los espectros de carga y coeficientes de daño en un corredor de Colombia, realizó un estudio de las cargas por eje en cada vehículo y así encontrar las cargas excedidas, para luego determinar los coeficientes de daño en la estructura del pavimento.

Los estudios de espectro de carga y coeficientes de daño se limitan para nuestro país, ya que no se cuenta con básculas que identifiquen el peso por eje de cada vehículo pesado.

No se tiene evidencia de un estudio similar en el tramo de Siquinalá a Cocales, ya que para el diseño de la estructura se tomaron en cuenta solo pesos reglamentarios y no sobre pesos, si existiera una báscula que de un historial de los pesos que han transitado, estos datos se pueden utilizar para el diseño de la estructura en condiciones reales.

## JUSTIFICACIÓN

La presente investigación, se realiza debido a que cierta cantidad de vehículos que transitan por las carreteras de Guatemala, lo hacen con sobre cargas, según lo publicado por el Arq. Nelson García (2010) en su documento “Normas que rigen el control del transporte de carga a nivel Nacional y Centroamericano” se cree que estas contribuyen en el deterioro de la estructura del pavimento sin que este haya llegado a su tiempo de vida útil. Las posibles causas pueden acreditarse a que los transportistas no se rigen a la ley de pesos y dimensiones de la Dirección General de Caminos, porque no existen suficientes puestos de control con básculas, en las que al detectar una infracción se les obligue a los usuarios ya sea a distribuir de mejor forma sus cargas o a reducir el cargamento.

En el diseño de la estructura de los pavimentos, regularmente se consideran los pesos reglamentados, debido a que no se cuenta con un historial de sobre cargas el cual pueda utilizar en sustitución de los pesos reglamentados, es por eso que las sobre cargas en los vehículos son uno de los principales motivos de daño en los pavimentos.

Realizando la evaluación del incremento de los ejes equivalentes de carga, por medio de los factores equivalentes de carga a causa de los sobrepesos, se pretende demostrar la influencia que estos tendrían para el diseño de la estructura, y con esto, que los espesores requeridos para las cargas reglamentadas y los espesores requeridos para las sobre cargas son distintos.

Se aportará documentación importante bajo la línea de investigación de: “Estudios de pesos y dimensiones”, que corresponde a la Maestría en Ingeniería Vial, dada la importancia de este tema, este material ayudará tanto a los profesionales en la rama, como a las autoridades encargadas de velar por el buen funcionamiento de las carreteras, a tomar mejores decisiones al considerar los tipos de vehículos y los pesos por eje que estos puedan tener, ya que se demostrará que influyen grandemente en el índice de serviciabilidad que los pavimentos pueden alcanzar dentro de su vida útil.

El aporte principal es la demostración de la reducción de la vida útil de las carreteras cuando en ellas transitan vehículos con sobre cargas, al mismo tiempo se documenta un método para estimar la pérdida de serviciabilidad, el cual puede ser usado para el análisis de cualquier otro tramo.

## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La falta de un mayor número de sistemas de control de pesos de los vehículos pesados y el posible incumplimiento de la legislación que reglamenta tal situación, puede facilitar el libre transitar de vehículos de transporte de carga con sobre carga, tal es el caso del tramo de Siquinalá a Cocales.

El comportamiento de una estructura de pavimento será muy distinto si por ella transitan dentro de su período de vida útil los tipos de cargas consideradas dentro del diseño estructural; sin embargo, el comportamiento de los pavimentos cambia radicalmente al momento de actuar sobre cargas en ellas, estas originan esfuerzos con magnitudes tan grandes y en forma creciente que su efecto se aleja grandemente del considerado en el diseño, ocasionando así el apareamiento de fallas prematuras en los pavimentos.

En el tramo de Siquinalá a Cocales, actualmente existe una reciente reparación de la estructura, por lo que aún no presenta daños considerables, pero anteriormente la carretera no ha soportado el tiempo de vida útil con el que fue diseñado, uno de los principales causantes es el sobre peso en los vehículos que transitan en ella, cabe mencionar que este problema se presenta en la mayoría de las carreteras del país, pero se elige este tramo, ya que en él transita una cantidad considerable de transporte pesado.

Las estructuras son diseñadas para soportar una cantidad determinada de ejes equivalentes, si transitan cargas mayores a las previstas estas harán que la estructura se deteriore antes de su vida útil, es por esto que se hace necesario investigar qué tanto pueden afectar a los pavimentos las sobrecargas por medio

de los factores equivalentes de carga determinando el factor camión para los sobre pesos.

Debido a la problemática del tema surge la pregunta central:

**¿Como afectan las sobre cargas vehiculares al comportamiento de la estructura de pavimento del tramo Siquinalá a Cocales?**

Con base a lo anterior, surgen las siguientes preguntas:

1. Qué tanto varían los ejes equivalentes para cargas reglamentadas y con sobre cargas?
2. Si existen sobrecargas en un porcentaje de los vehículos pesados, cómo éstas afectan la vida útil de los pavimentos?
3. Qué tanto varían los número estructurales requeridos para soportar las cargas reglamentadas y las sobre cargas?
4. Qué tanto se reduciría la vida útil de la estructura del tramo Siquinalá a Cocales si existen sobre cargas?

**Principales causales:**

Falta de control en los puestos de básculas.

Cantidad insuficiente de básculas.

Los transportistas no conocen los pesos y dimensiones que están autorizados para su vehículo.

En los lugares donde los transportistas cargan sus vehículos, no se cuenta con un sistema que les indique si tienen sobre cargas o no.

**Principales efectos:**

Pérdida de serviciabilidad en los pavimentos.

Aumento del factor camión, y con esto aumento en la cantidad de ejes equivalentes que transitan.

Disminución de la vida útil de los pavimentos.

Pérdidas en los recursos del Estado.



## MARCO TEÓRICO

### Ejes equivalentes de carga

El método desarrollado por la AASHTO para el cálculo de ejes que se utilizan en el diseño de pavimentos, está en función del daño que produce el paso de un eje con carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil.

Para utilizar el método de la AASHTO se requiere cierta información como: la carga por eje, la configuración del mismo, así como los tipos de ejes que componen el vehículo.

La metodología transforma un tránsito mixto, compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes, a ejes equivalentes de 18,000 lbs, los que se denominan ESAL (Equivalent simple axial load o ejes equivalentes de carga).

El Artículo 5to. del Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores de carga y sus combinaciones, da la tabla de pesos permitidos por eje simple, doble o triple, ya que para la determinación y cálculo de los ejes equivalentes se requiere el uso de estos valores, según el tipo de vehículo.

**Tabla I. Límite de peso por eje**

PARA VEHICULOS	TIPO C2 Y C3	PARA OTROS VEHICULOS
Eje Simple	5,500 Kg	5,000 Kg
Eje Simple Rueda Doble	10,000 Kg	9,000 Kg
Eje Doble (tándem) Tipo A	16,500 Kg	16,000 Kg
Eje Doble (tándem) Tipo B	12,000 Kg	12,000 Kg
Eje Triple Tipo A		20,000 Kg
Eje Triple Tipo B		17,000 Kg

Fuente: Artículo 5to. Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores de carga y sus combinaciones, 2010.

También se requiere para estos cálculos, de la tabla II, la cual da la tasa anual de crecimiento vehicular, que se usará para el cálculo de los ejes equivalentes de carga. Esta tasa puede variar dependiendo del tipo de vehículo.

**Tabla II. Factores de crecimiento de tránsito**

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

Fuente: Tabla D-20 AASHTO Guía para el diseño de estructuras de pavimento, 1993.

## **Volúmenes de tránsito**

Con el objeto de obtener una muestra representativa del tránsito, en los tramos seleccionados para estudio, se deben realizar conteos visuales por 24 horas durante 7 días. Para efectos de mayor representatividad, esta actividad debe realizarse en días en los que transitan el mayor número de vehículos en ese tramo.

Para el cálculo de los ejes equivalentes de carga, es necesario conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado. Por tal razón, se realizan estos conteos, los cuales pueden variar según el punto en que se requiere conocer el volumen de tránsito, tales como: puentes, túneles o intersecciones de carreteras.

Jorge Iturbide (2002) afirma: “Estos aforos se realizan con el objeto de”:

Determinar la composición y volumen de tránsito de una carretera.

Servir de base para la clasificación de caminos.

Proyectar sistemas de control de tránsito.

Elaborar sistemas de mantenimiento.

Establecer prioridades y técnicas de construcción.

Determinar el tránsito futuro, entre otros.

Jorge Iturbide (2002) indica que, el tránsito cambia según el día de la semana, la semana del mes, la estación o época del año, los días de descanso o asueto, etc. Por lo que es necesario hasta donde sea posible, contar con estadísticas de períodos largos de evaluación del tránsito, para analizar el comportamiento de los diferentes volúmenes y tipos de vehículos, que nos

permitan en mejor forma evaluar las cargas que se aplicarán a la estructura de pavimento.

### **Metodología de conteo**

De acuerdo a una investigación realizada (Casprowitz Arias, Luis Alberto, 2010) se dice que, el país depende en un 90 % de su sistema de transporte por carreteras para la movilización de bienes, servicios y personas, por lo que se han tenido que mejorar los diseños geométricos de las carreteras. Los diseños dependen, directamente del tránsito, promedio diario anual y según los valores determinados, así será el tipo de carretera que se construya. Esto reviste importancia en el análisis de tránsito porque de estos estudios se obtiene la información para determinar importantes unidades de medidas, tales como el Tránsito promedio diario anual TPDA, el volumen horario VH, la guía kilométrica, las historias de tránsito, entre otros.

Es importante proyectar el tránsito debido a que las carreteras se diseñan con base al factor de tránsito actual y futuro a un período determinado de 10, 15 y 20 años. Esta proyección debe realizarse de forma confiable, ya que de lo contrario, los tramos se pueden sobre diseñar y esto se reflejaría en la inversión inicial, o se pueden sub diseñar provocando un mantenimiento prematuro y que el período de vida sea menor al diseñado.

En el presente trabajo, se realizó un conteo durante una semana, en un horario de 8 de la mañana a 8 de la noche, según el criterio del asesor este conteo es bastante representativo, ya que por la noche transita una cantidad menor de ejes.

Para la realizar el aforo visual se considera la siguiente tabla:

Tabla III. Cuadro para conteo vehicular

INICIO	FIN	AUTOS		PICK-UPS	CAMIONES DE 2 EJES			VEHICULOS DE 3 EJES		MICROBUSES	BUSES	4 O MAS EJES
		CAMIONES C-2	C-3		C-4	T3-S2	T3-S3					
8:00	9:00											
9:00	10:00											
10:00	11:00											
11:00	12:00											
12:00	13:00											
13:00	14:00											

Fuente: elaboración propia.

Según (Casprowitz Arias, Luis Alberto, 2010), los aforos de tránsito visuales, se deben realizar totalizando por hora cada uno de los tipos de vehículos, con el objeto de conocer el comportamiento y volumen horario en cada uno de los tramos que correspondan a cada estación.

### **Serviciabilidad de la carretera**

La capacidad o nivel de servicio de una carretera se clasifica por las letras A,B,C,D,E y F, siendo el nivel de servicio A el nivel ideal hasta la letra F una carretera altamente congestionada, para su clasificación se toman en cuenta un las características y condiciones de entorno y vía. El nivel de servicio se mide según la capacidad de fluidez que pueda tener una carretera.

Según el manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos, una vía que presente condiciones de transito ideales debe tener las siguientes características:

- Flujos ininterrumpidos
- Sin interferencia vehicular
- Sin mezcla de vehículos pesados
- Altas velocidades de diseño
- Carencia de restricciones en la distancia de visibilidad

Las características generales de las carreteras, según su nivel de servicio se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla IV. Descripción de las características de una carretera, según su nivel de servicio**

Nivel de Servicio	Descripción
A	Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación.
B	Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito.
C	Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad.
D	Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar.
E	Flujo inestable, suceden pequeños embotellamientos.
F	Flujo forzado, condiciones de pare y siga, congestión de tránsito.

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos.

No es objetivo de esta investigación determinar el nivel de servicio de la carretera, pero es importante mencionarlo, ya que el deterioro prematuro de la vía, puede inducir a que los automóviles se desplacen con más lentitud y esto provocaría que el nivel de servicio se reduzca.

En este documento se demuestra que la existencia de las sobrecargas en el transporte pesado reduce la vida útil de las carreteras, la carreteras al terminar este período de utilidad tendrá un índice de serviciabilidad menor y esto da como consecuencia que la carretera tenga un nivel de servicio menor a previsto.

### **Vida útil**

La vida útil de una carretera es el tiempo medido en años para la cual se predice que la carretera llegará al índice de serviciabilidad final al terminar su vida útil, se diseña la estructura para que al final de la vida útil la carretera aún esté en condiciones aceptables para el paso del tránsito.

Las sobrecargas vehiculares disminuyen la vida útil de la carretera, en este documento se presenta cuanto puede disminuir la vida útil de la carretera en estudio, si se presentan sobre cargas de un 25 % y 35 %.

Al terminar la vida útil de la carretera no significa que esté totalmente deteriorada, debe presentar el índice de serviciabilidad final para el cual fue diseñada, el cual puede ser de 2 o 2.5, se menciona que la carretera disminuye su serviciabilidad por la presencia de sobre cargas en el transporte pesado, porque si disminuye la vida útil el nivel de servicio también disminuye.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1. Datos para el cálculo de ejes equivalentes

La metodología AASHTO transforma el volumen de tránsito resultante del conteo vehicular, en ejes que equivalen a esta carga, este cambio se realiza ya que el tránsito que circula en una carretera es variado y se debe uniformizar, pero que a su vez estos ejes equivalentes produzcan el mismo daño que el tránsito mixto. La conversión se realiza a través de factores equivalentes de carga abreviados por sus siglas en inglés como LEF (Load Equivalent Factor).

## 1.2. Índice de serviciabilidad

Este índice indica el grado de comodidad que tiene la superficie del pavimento, el índice de serviciabilidad se mide en una escala de 0 a 5 según la calidad en que se encuentre la superficie, este será de 5 cuando está en perfectas condiciones y de 0 cuando está en pésimas condiciones.

Existe un parámetro llamado pérdida de serviciabilidad ( $\Delta$ PSI) que es la diferencia entre los valores de índice de serviciabilidad al momento de iniciar el uso de la carretera y el valor que se espera al final de su vida útil, se le conoce como la pérdida de serviciabilidad.

Los valores que se recomiendan dependiendo del tipo de pavimento son los siguientes:

Índice de serviciabilidad inicial

Po= 4.5 para pavimentos rígidos

Po= 4.2 para pavimentos flexibles

Índice de serviciabilidad final:

Pt= 2.5 o más para caminos muy importantes.

Pt= 2.0 para caminos de tránsito menor.

Jorge Iturbide (2002) indica que, el índice de serviciabilidad de un pavimento, es un valor de apreciación con el cual se valúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento; actualmente para medir este deterioro se utiliza el IRI, Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index), para lo cual se utiliza un equipo sofisticado montado en un vehículo, que al pasar sobre la superficie de una carretera, va midiendo la suma de los desplazamientos verticales, por lo que al final se obtiene un valor acumulado en metros por kilómetro (m/km) o pulgada por milla (plg/milla).

El Factor Equivalente de Carga (**LEF**) es el valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un tipo de eje de 80 kN y la producida por un eje estándar en el mismo eje.

Para determinar los ESAL's de diseño, se hará uso de la tabla V.

**Tabla V. Ejemplo para calcular el equivalente de 18 Kips en carga de ejes simples**

Tipo de Vehículo	Cantidad de Vehículos diarios "A"	Factor de crecimiento "B"	Tránsito de diseño "C"	ESAL's Factor "D"	ESAL's de diseño "E"
<b>Vehículos sencillos</b>					
Autos	500	4%	3,653,650	0.0002	731
Autobuses	125	20.02	913,413	1.1005	1,005,210
<b>Camiones eje simple</b>					
Pick-ups	250	2%	1,577,713	0.0004	631
Otros Vehículos 2 ejes y cuatro ruedas (agricolas)	25	17.29	157,771	0.0132	2,083
Camiones de 2 ejes, 6 ruedas, camiones de 3 ejes o más	80	17.29	504,868	1.972	995,599.7
<b>Camiones tipo trailer eje compuesto</b>					
Semiremolque (3 ejes)	450	6%	3,544,515	1.8760	6,649,510
Semiremolque (4 ejes)	45	21.58	354,452	2.7630	979,349
Semiremolque (5 o más ejes)	25	21.58	196,918	3.6500	718,749
<b>2%</b>					
Camión acoplado (5 ejes)	10	17.29	63,109	3.6500	230,346
Camión acoplado (6 o más ejes)	5	17.29	31,554	4.5370	143,162
<b>TOTAL VEHICULOS</b>	<b>1,515</b>		<b>ESAL's de diseño</b>		<b>10,725,371</b>

Fuente: Manual centroamericano para diseño de pavimentos, Ing. Jorge Coronado Iturbide, 2002.

Período de diseño = 15

SN o D = 4

Índice de serviciabilidad final = 2.5

Factor de dirección = 0.5

Factor de carril = 0.9

ESAL's por carril de tránsito =  $0.5 * 0.9 * 10,725,371 = 4,826,417$

El manejo de la tabla V se describe en el Manual centroamericano para diseño de pavimentos, Ing. Jorge Coronado Iturbide, (2002), como se explica a continuación:

En la columna "A" se pondrá la cantidad diaria de cada tipo de vehículo especificado y del cual se tenga el conteo correspondiente.

En la columna "B", se colocará el correspondiente factor de crecimiento para cada tipo de vehículo, el cual depende de la tasa de crecimiento asumida para cada tipo de vehículo y el período de diseño considerado, cada tipo de vehículo puede tener una tasa de crecimiento distinta, ya que no todos los tipos de vehículos crecen a la misma tasa, según la tabla II.

En la columna "C" se coloca el producto de las columnas "A" y "B" multiplicado por 365 (días del año).

En la columna "D" se coloca el factor ESAL, que depende de cada peso y configuración o tipo de camión (ejes simples, tándem o tridem) y los valores asumidos de índice de serviciabilidad final y el número estructural (SN para pavimentos flexibles) o espesor de losa para pavimentos rígidos.

La columna "E" es el producto de la "C" por la "D" y la suma de esta columna "E" es el número total de ESAL's para el diseño del pavimento considerado, el cual debe afectarse por el factor de distribución por dirección y el factor de distribución por carril.

### **1.3. Factor de distribución por dirección**

Jorge Iturbide (2002) indica que, el factor del total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; ya que la mitad de los vehículos

va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Puede darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, lo cual puede deducirse del conteo de tránsito efectuado. Lo más importante de esto, será la diferencia de peso entre los vehículos que van en una y en otra dirección; como puede suceder por la cercanía de una fábrica, puerto, entre otro.

Tabla VI. **Factor de distribución por dirección**

<b>Número de carriles en ambas direcciones</b>	<b>LD<sup>10</sup></b>
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

LD = Porcentaje de camiones en el carril de diseño.

#### **1.4. Factor de distribución por carril**

Jorge Iturbide (2002) explica que, se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, debido a que los vehículos pesados van en ese carril.

**Tabla VII. Factor de distribución por carril**

<b>Número de carriles en una sola dirección</b>	<b>LC<sup>11</sup></b>
1	1.00
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

LC = Porcentaje de camiones en el carril de diseño.

### **1.5. Desviación estándar**

Es la variación del comportamiento del pavimento y el tránsito estimado en el período de diseño.

Jorge Iturbide (2002) explica que, para las desviaciones estándar, se recomienda utilizar los valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

**Tabla VIII. Desviaciones estándar recomendadas**

<b>USO</b>	<b>DESVIACION ESTÁNDAR</b>
Para pavimentos flexibles	0.40-0.50
En construcción nueva	0.35-0.40
En sobre-capas	0.5

Fuente: Manual centroamericano para diseño de pavimentos, Ing. Jorge Coronado Iturbide, 2002

## 1.6. Confiabilidad

Según Jorge Iturbide (2002), este valor se refiere al grado de seguridad o veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su período de diseño en buenas condiciones.

Tabla IX. Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85-99.9	80-99.9
Troncales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	50-80

Fuente: Manual centroamericano para diseño de pavimentos, Ing. Jorge Coronado Iturbide, 2002



## 2. MARCO LEGAL

En Guatemala se emitió el reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores de carga y sus combinaciones, en este reglamento se establecen pesos, dimensiones, multas y aspectos de seguridad vial. En el año de 1985, se aprobó el primer reglamento nacional mediante el Acuerdo Gubernativo 135-85, en el año 1992 se actualizó el anterior, así creando el nuevo Acuerdo Gubernativo 1084-92, en el año 2010 se dispuso realizar una segunda actualización aprobando el nuevo reglamento mediante el Acuerdo Gubernativo 379-2010, este acuerdo es el que se encuentra vigente en el país hasta la fecha.

Para el análisis que se realiza en el presente trabajo, es necesario conocer ciertos Artículos descritos a continuación.

### 2.1. Artículo 2o

En este Artículo se establecen las definiciones necesarias para la aplicación del reglamento, solamente se mencionarán las que están dentro de los Artículos de interés, las cuales son:

**Acoplamiento:** Mecanismo de conexión que une el vehículo tractor con el vehículo remolcado.

**Acreditación:** Atestación de tercera parte relativa a un organismo de evaluación de la conformidad que manifiesta la demostración formal de su competencia para llevar a cabo tareas específicas de evaluación de la conformidad.

**Atestación:** Emisión de una declaración, basada en una decisión tomada después de la revisión, de que se ha demostrado que se cumplen los requisitos especificados.

**Calibración:** Conjunto de operaciones que permiten establecer en condiciones específicas, la relación existente entre los valores indicados por un instrumento o sistema de medida, los valores representados por una medida material o un material de referencia y los valores correspondientes obtenidos mediante un patrón de referencia.

**Caminos Rurales (CR):** Interconectan caseríos, aldeas y comunidades rurales de los correspondientes municipios, una con rutas departamentales.

**Carga especializada:** Carga integral en su mayoría de gran volumen, en donde los pesos y dimensiones son excepcionales e indivisibles, por lo tanto su medio de transporte debe realizarse con equipo especializado.

**Carga útil:** Peso de la carga que un vehículo puede transportar en condiciones de seguridad.

**Combinación de vehículos:** Es un vehículo articulado con un remolque o camión con un remolque.

**Conductor:** Es toda persona autorizada que conduzca un vehículo automotor.

**Contrapeso:** Masa fijada sobre la estructura de la grúa para ayudar a equilibrar las acciones de la carga.

**Departamento:** Es el Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Dirección General de Caminos, designado para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores y sus Combinaciones.

**Distancia entre ejes:** Distancia entre los ejes del tren de rodadura, medida paralela al eje longitudinal de desplazamiento (medición realizada de centro a centro de los ejes).

**Eje simple:** Es el eje que está compuesto por dos ruedas, una en cada extremo del eje.

**Eje simple de rueda doble:** Es el que está compuesto de cuatro ruedas de igual medida de fabricación dos ruedas en cada extremo del eje, o una rueda de doble ancho en cada extremo del eje.

**Eje doble (Tándem):** Es el conjunto de dos ejes simples de ruedas dobles, con una separación de centros comprendida entre 1.00 y 2.45 metros.

**Eje doble (Tándem), Tipo A:** Es aquel que dispone de un mecanismo que transfiere a uno de sus ejes no menos del 40% de los pesos que soporta el conjunto.

**Eje doble (Tándem), Tipo B:** Es aquel que no dispone de un mecanismo de transferencia.

**Eje triple:** Es el conjunto de tres ejes simples de rueda doble con una separación de sus centros comprendida entre 1.00 y 2.45 metros.

**Eje triple, Tipo A:** Es aquel que dispone de un mecanismo que transfiere como mínimo el 28% del peso total del conjunto a cada uno de los ejes.

**Eje triple, Tipo B:** Es aquel que no dispone de un mecanismo de transferencia.

**Eje cuádruple:** Es el conjunto de cuatro ejes simples de rueda doble con una separación de sus centros comprendida entre 1.00 y 2.45 metros.

**Estabilizadores:** Dispositivos destinados a aumentar y/o asegurar la base de apoyo de una grúa en posición de trabajo.

**Estaciones de control:** Puntos estratégicos ubicados sobre la red vial del país para regular el flujo y comportamiento vehicular de carga, haciendo uso de básculas fijas y equipo de báscula móvil.

**Grúa móvil autopropulsada:** Maquinaria de elevación de funcionamiento discontinuo, destinado a elevar y distribuir en el espacio cargas suspendidas de un gancho o cualquier otro accesorio de aprehensión, dotado de medios de propulsión y conducción que forma parte de un conjunto con posibilidad de desplazamiento por vías públicas.

**Peso bruto vehicular (PBV):** Suma del peso tara vehicular y el peso de la carga útil, más todo el embalaje que este contenga, incluyendo el peso del conductor y cualquier otra persona transportada al mismo tiempo.

**Peso por eje:** Concentración de peso, expresado en kilogramos fuerza, que un eje transmite a todas las llantas que conforman el mismo y éstos a la superficie de rodamiento.

**Peso tara vehicular:** Peso de un vehículo o combinación vehicular con accesorios, en condiciones de operación, sin carga.

**Peso:** Fuerza que ejerce sobre la superficie terrestre un vehículo expresado en kilogramos-fuerza (kg).

**Pluma:** Componente estructural de la grúa capaz de soportar el órgano de aprehensión cargado, asegurando el alcance y la altura de elevación solicitadas.

**Remolque:** Es el vehículo que soporta la totalidad de su peso sobre sus propios ejes y que está destinado a ser halado por un vehículo automotor.

**Rueda de doble ancho:** Es aquella cuyo ancho sea mayor de 38 milímetros.

**Rutas Centroamericanas (CA):** Interconectan la capital con distintas fronteras del país, desde otra ruta centroamericana, unen puertos de importancia con la capital o desde otra ruta centroamericana, atraviesan longitudinal y transversalmente la república y posee las mejores condiciones de diseño que la topografía permite.

**Rutas Departamentales (RD):** Interconectan cabeceras con municipios, caminos departamentales con municipales, rutas nacionales entre sí.

**Rutas Nacionales (RN):** Interconectan cabeceras departamentales y rutas centroamericanas con puertos de importancia comercial para el país; se consideran redes auxiliares de las rutas centroamericanas.

**Semirremolque:** Es el vehículo que carece de eje delantero que descansa la parte frontal de su peso en un tractor o cabezal y que está destinado a ser halado.

**Tractor o cabezal:** Es el vehículo automotor destinado a soportar y halar un semirremolque.

**Trazabilidad:** propiedad del resultado de una medición o el valor de un patrón por medio de la cual éste puede ser relacionado con los patrones de referencia, usualmente patrones nacionales o internacionales, a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo establecidas las incertidumbres.

**Vehículo articulado:** Es el compuesto por un tractor o cabezal y un semirremolque.

**Vehículo automotor:** Significa todo el vehículo provisto de un dispositivo mecánico de auto propulsión, utilizado normalmente para el transporte de personas o mercancías, por carretera y que no marche sobre rieles o conectado a un conductor eléctrico.

**Velocidad de desplazamiento en ruta:** Velocidad de desplazamiento de la unidad vehicular en orden de marcha, accionada por sus propios medios.

## 2.2. Artículo 3º.

Abreviaturas y definiciones de vehículos tipo:

ABREVIATURAS Y DEFINICIONES DE VEHICULOS TIPO	
C-2	Es un camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje de rueda doble (eje de tracción).
C-3	Es un camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje doble o Tándem (eje de tracción).
C-4	Es un camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje triple (eje de tracción).
T-2	Es un tractor o cabezal con un eje simple (eje direccional) y un eje simple de rueda doble (eje de tracción).
T-3	Es un tractor o cabezal con un eje simple (eje direccional) y un eje doble o Tándem (eje de tracción).
T-4	Es un tractor o cabezal con un eje simple (eje direccional) y un eje triple (eje de tracción).
S-1	Es un semi-remolque con un eje trasero simple de rueda doble.
S-2	Es un semi-remolque con un eje trasero doble o Tándem.
S-3	Es un semi-remolque con un eje trasero triple.
S-4	Es un semi-remolque con un eje trasero cuádruple.
R-2	Es un remolque con un eje delantero simple o rueda doble y un eje trasero simple o rueda doble.
R-3	Es un remolque con un eje delantero simple o rueda doble y un eje trasero doble Tándem.
R-4	Es un remolque con dos ejes de rueda doble o Tándem en cada uno de sus extremos.

Fuente: Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores de carga y sus combinaciones, Acuerdo gubernativo 379-2010, 2010.

### 2.3. Artículo 4º.

Los vehículos y combinaciones no deberán exceder el peso bruto vehicular que señalen sus fabricantes.

### 2.4. Artículo 5º.

#### PESOS Y DIMENSIONES

Se permitirá la circulación de vehículos o combinaciones de vehículos cuyo

peso por eje no exceda los límites que se indican a continuación:

PESOS PERMITIDOS POR EJE		
PARA VEHÍCULOS	TIPO C2 Y C3	PARA OTROS VEHÍCULOS
Eje Simple	5,500 Kg	5,500 Kg
Eje Simple Rueda Doble	10,000 Kg	9,000 Kg
Eje Doble (tándem) Tipo A	16,500 Kg	16,000 Kg
Eje Doble (tándem) Tipo B	12,000 Kg	12,000 Kg
Eje Triple Tipo A		20,000 Kg
Eje Triple Tipo B		17,000 Kg

Fuente: Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores de carga y sus combinaciones, Acuerdo gubernativo 379-2010, 2010.

Se permitirá una variación hasta del 8 % del peso por eje indicado en los tipos de vehículos C2 y C3 y el 5% para otros tipos de vehículos, siempre que el peso bruto vehicular no exceda del peso máximo autorizado en este reglamento.

Se permitirá que vehículos o combinaciones de vehículos circulen por carreteras con un peso bruto vehicular hasta los indicados en la siguiente tabla, siempre que no sean excedidos los límites establecidos en el inciso anterior y que las separaciones entre ejes más distantes no sea menor a las que se especifican a continuación.

PESOS TOTALES PERMITIDOS Y SEPARACION MINIMA ENTRE EJES		
TIPO DE VEHICULO AUTORIZADO	SEPARACIÓN MÍNIMA ENTRE EJES MÁS DISTANTES (metros)	PESO TOTAL (kilogramos)
C-2	5.00	15,500
C-3	5.00	22,000
C-3 Rueda de Doble Ancho	5.00	26,000
C-4	5.00	25,000
TS-S1	6.67	23,000
T2-S2	10.50	30,000
T2-S3	10.50	34,000
T3-S1	10.50	30,000
T3-S2	14.40	37,000
T3-S3	14.40	41,000
T3-S4	14.40	45,000
C2-R2 (Remolque con rueda sencilla)	12.38	25,500
C2-R2 (Remolque con rueda sencilla y rueda doble)	12.38	27,500
C2-R2 (Remolque con rueda doble)	12.38	29,500
C3-R2 (Remolque con rueda sencilla)	14.40	32,000
C3-R2 (Remolque con rueda sencilla y rueda doble)	14.40	34,000
C3-R2 (Remolque con rueda doble)	14.40	36,000
C3-R3 (Remolque con rueda sencilla)	14.40	37,000
C3-R3 (Remolque con rueda sencilla y rueda doble)	16.00	39,000
T2-S1-R2 (Remolque con rueda sencilla)	16.00	33,000
T2-S1-R2 (Remolque con rueda sencilla y rueda doble)	16.00	35,500
T2-S1-R2 (Remolque con rueda sencilla y rueda doble)	16.00	38,000
T3-S1-R2 (Remolque con rueda sencilla)	16.00	40,000
T3-S1-R2 (Remolque con rueda sencilla y rueda doble)	16.00	42,500
T3-S2-R2 (Remolque con rueda doble)	16.00	45,000
T3-S1-R4 (Remolque con ejes tándem)	16.00	50,000
T3-S2-R2 (Remolque con rueda sencilla)	16.00	47,000
T3-S2-R2 (Remolque con rueda sencilla y rueda doble)	16.00	49,500
T3-S2-R2 (Remolque con rueda doble)	16.00	52,000
T3-S2-R4 (Remolque con ejes tándem)	16.00	57,000

Fuente: Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores de carga y sus combinaciones, Acuerdo gubernativo 379-2010, 2010.

### **Transporte especializado**

Para el transporte especializado los pesos máximos permitidos por ejes son: 10,000 kg en ejes con 4 llantas y 12,000 kg en ejes con 8 llantas.

Grúas autopropulsadas el peso máximo permitido es de 12,000 kg por eje (siempre y cuando se haga uso de ruedas de doble ancho).

Todo transporte especializado debe hacer uso de la forma 1-83, para realizar los estudios y análisis técnicos correspondientes.

#### **2.5. Artículo 12°.**

Todos los vehículos de transporte de carga deberán pasar obligadamente por las Estaciones de Control de pesaje fija o cuando se realicen operativos con báscula móvil, sin previo requerimiento y al hacerlo el conductor debe presentar su licencia de piloto y la o las tarjetas de circulación, según el tipo de vehículo de que se trate, en dichas estaciones se les extenderá la boleta de peso correspondiente por ejes, la cual indicará como mínimo lo siguiente: Número de placas, peso por ejes, peso bruto total, desbalance de carga y/o la sobredimensión. Los vehículos que el personal de las Estaciones de Control constaten que transitan vacíos, podrán continuar su recorrido.

#### **2.6. Artículo 13°.**

Al comprobarse en la Estación de Control de Pesaje que un vehículo excede los límites autorizados, éste no podrá continuar su recorrido ni regresar en tanto no sea retirado el exceso de carga o corregidas las dimensiones de la misma. En caso que el exceso sea del 5 % o menos sobre su peso autorizado, se le permitirá continuar con la sanción correspondiente. La carga retirada o el

vehículo detenido no deberán obstaculizar la carretera o los accesos a la Estación de Control, se le dará 24 horas para el retiro del excedente.

### 2.7. Artículo 14°.

El personal de las Estaciones de Control de Pesaje no tendrá obligación de custodiar o remover la carga ni los vehículos a que se hace referencia en el Artículo anterior, para lo cual brindarán el asesoramiento correspondiente, toda carga estará a cargo de los propietarios, transportistas, portadores o conductores.

### 2.8. Artículo 18°.

A los infractores de las disposiciones de este reglamento, se les impondrán las siguientes sanciones por paso en cada Estación de Control fija y operativos con báscula móvil como sigue:

Por excederse en los pesos brutos vehiculares autorizados en la forma siguiente.

SANCIONES ECONOMICAS POR EXCEDENTES EN PESO		
NO.	EXCEDENTE EN PESO	SANCION ECONOMICA
1	101 A 500 Kilogramos	Q 200.00
2	501 a 1,000 Kiiogramos	Q 500.00
3	1,001 a 1,500 Kilogramos	Q 750.00
4	1,501 a 2,000 Kilogramos	Q 1,000.00
5	2,001 a 2,500 Kilogramos	Q 1,500.00
6	2,501 Kilogramos en adelante	Q. 1,500.00 mas Q.70.00 por cada 100 Kilogramos

Fuente: Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores de carga y sus combinaciones, Acuerdo gubernativo 379-2010, 2010.



### **3. CÁLCULO DE LOS FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA Y FACTORES CAMIÓN**

Los factores camión, se definen como la suma de los factores equivalentes de carga de cada vehículo, el cual expresa el daño producido por eje.

Los factores equivalentes de carga equivalen al peso por eje de cada tipo de vehículo que sumando los valores por cada eje tenemos como resultado el factor camión. Comúnmente el (FEC) es la abreviatura de los factores equivalentes de carga y (FC) de los factores camión.

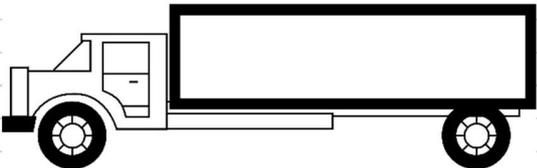
La metodología AASHTO para el cálculo de los FEC consiste en tablas que dan este valor según la carga por eje, el número estructural, el índice de serviciabilidad final y el tipo de eje ya sea simple, tándem o tridem.

Antes de determinar el valor del factor equivalente de carga, se debe tener definido el índice de pérdida de serviciabilidad final (Pt) y el número estructural (SN), el cual dependerá del tipo de carretera.

#### **3.1. Ejemplo de cálculo de factores equivalentes de carga y factor camión**

Para el siguiente ejemplo, se toma un vehículo tipo C-2 con eje direccional simple y eje de tracción simple, los pesos por eje según el reglamento de pesos y dimensiones, también se supone un número estructural (SN) de 4 y un índice de pérdida de serviciabilidad final (Pt) de 2.5.

Figura 1. Vehículo tipo C-2 y sus cargas reglamentarias

<b>EJE DELANTERO</b>		<b>EJE TRASERO</b>
5.5 Ton.		10 Ton.
5,500 Kg.		10,000 Kg.
12,126.4 lbs.		22,048 lbs.

Fuente: elaboración propia.

Los pesos permitidos por el reglamento son de 12,126.4 libras para el eje delantero y de 22,048 libras para el eje trasero. En las tablas de la AASHTO las cargas están en Kips, 1 Kip equivale a 1,000 libras.

Datos:

Tipo de eje = simple.

Número de estructural (SN) = 4.

Índice de serviciabilidad final Pt = 2.5

Cargas por eje = 12,126.4 libras eje delantero, 22,048 libras eje trasero.

Con base a estos datos se identifica la tabla que tenga el título, según tipo de eje y el índice de serviciabilidad final, para así encontrar el valor del FEC, según el peso y el número estructural, como se muestra en la tabla X.

Tabla X. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt=2.5

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
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	0.010	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	0.080
12	0.168	0.198	0.229	0.213	0.189	0.176
14	0.328	0.358	0.399	0.388	0.360	0.342
16	0.591	0.613	0.646	0.645	0.623	0.606
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
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	5.90	5.21	5.39	5.98
30	10.3	9.5	7.9	6.8	7.0	7.8
32	13.9	12.8	10.5	8.8	8.9	10.0
34	18.4	16.9	13.7	11.3	11.2	12.5
36	24.0	22.0	17.7	14.4	13.9	15.5
38	30.9	28.3	22.6	18.1	17.2	19.0
40	39.3	35.9	28.5	22.5	21.1	23.0
42	49.3	45.0	35.6	27.8	25.6	27.7
44	61.3	55.9	44.0	34.0	31.0	33.1
46	75.5	68.8	54.0	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.

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO.

Se puede ver que las tablas no dan valores para una carga de 12,126.4 libras o 12.126 kips, para encontrar este factor equivalente de carga se debe realizar una interpolación entre los valores de 12,000 libras y 14,000 libras.

$$\begin{aligned}
 FEC_{12,126.4 \text{ lbs}} &= \left[ \frac{(FEC_{14,000 \text{ lbs}} - FEC_{12,000 \text{ lbs}})(\text{carga en el eje} - \text{carga inferior})}{(\text{carga superior} - \text{carga inferior})} \right] + FEC_{12,000 \text{ lbs}} \\
 &= \left[ \frac{(0.388 - 0.213)(12,126.4 - 12,000)}{(14,000 - 12,000)} \right] + 0.213 = \mathbf{0.2240}
 \end{aligned}$$

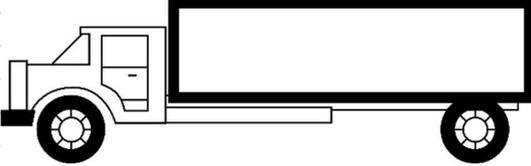
De igual forma se utiliza la interpolación para encontrar el FEC, para la carga en el eje trasero de 22,048 libras.

$$FEC_{22,048 \text{ lbs}} = \left[ \frac{(FEC_{24,000 \text{ lbs}} - FEC_{22,000 \text{ lbs}})(\text{carga en el eje} - \text{carga inferior})}{(\text{carga superior} - \text{carga inferior})} \right] + FEC_{22,000 \text{ lbs}}$$

$$= \left[ \frac{(2.89 - 2.09)(22,048 - 22,000)}{(24,000 - 22,000)} \right] + 2.09 = 2.1092$$

El FEC para 12,126.4 libras y 22,048 libras es 0.2240 y 2.1092 respectivamente, para encontrar el factor camión únicamente se deben sumar los valores encontrados de cada eje, como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Resultados de FEC y FC para un vehículo tipo C-2.

EJE DELANTERO		EJE TRASERO
5.5 Ton.		10 Ton.
5,500 Kg.		10,000 Kg.
12,126.4 lbs.		22,048 lbs.
FEC=0.2240		FEC=2.1092
FACTOR CAMION = 2.3332		

Fuente: elaboración propia.

El valor del factor camión para un tipo de vehículo C-2, es de 2.3332, suponiendo que este cumple con los pesos reglamentarios, a continuación se muestra el incremento de los factores camión, cuando se tiene un aumento en las cargas permitidas.

### 3.2. Cálculo de factores equivalentes de carga y factor camión con un aumento del 25 % y 35 % en el peso permitido

En el ejemplo anterior, se encontró el factor camión para un vehículo C-2 con una carga por eje, según la máxima permitida por el reglamento de pesos y dimensiones, ahora se encontrará el valor del factor camión con un aumento del 25 % en el peso como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Vehículo tipo C-2 y sus cargas reglamentarias aumentadas un 25 %

<b>EJE DELANTERO</b>		<b>EJE TRASERO</b>
5,500 kg + 25%		10,000 Kg + 25%
6,875 Kg		12,500 Kg
15,158 lbs		27,560 lbs

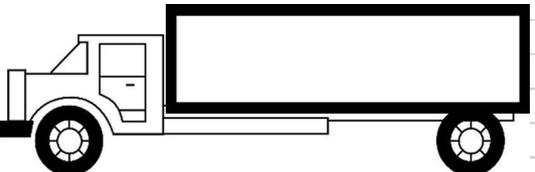
Fuente: elaboración propia.

Para encontrar el FEC de 15,158 libras y 27,560 libras se utiliza interpolación.

$$\begin{aligned}
 FEC_{15,158 \text{ lbs}} &= \left[ \frac{(FEC_{16,000 \text{ lbs}} - FEC_{14,000 \text{ lbs}})(\text{carga en el eje} - \text{carga inferior})}{(\text{carga superior} - \text{carga inferior})} \right] + FEC_{14,000 \text{ lbs}} \\
 &= \left[ \frac{(0.645 - 0.388)(15,158 - 14,000)}{(16,000 - 14,000)} \right] + 0.388 = \mathbf{0.5368}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FEC_{27,560 \text{ lbs}} &= \left[ \frac{(FEC_{28,000 \text{ lbs}} - FEC_{26,000 \text{ lbs}})(\text{carga en el eje} - \text{carga inferior})}{(\text{carga superior} - \text{carga inferior})} \right] + FEC_{26,000 \text{ lbs}} \\
 &= \left[ \frac{(5.21 - 3.91)(27,560 - 26,000)}{(28,000 - 26,000)} \right] + 3.91 = \mathbf{4.924}
 \end{aligned}$$

Figura 4. Resultados de FEC y FC para un vehículo tipo C-2 con 25 % de sobre peso

<b>EJE DELANTERO</b>		<b>EJE TRASERO</b>
5,500 kg + 25%		10,000 Kg + 25%
6,875 Kg		12,500 Kg
15,158 lbs		27,560 lbs
FEC = 0.5368		FEC = 4.924
<b>FACTOR CAMION = 5.4608</b>		

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 5, el factor camión aumentó considerablemente al aumentarle un 25 % el peso reglamentario.

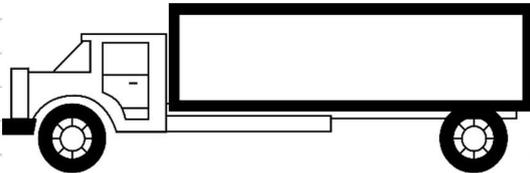
Figura 5. Resultados de FC para 0% y 25% de sobre peso

C-2 CON PESOS REGLAMENTARIOS	C-2 CON 25% DE SOBREPESO
	
<b>FACTOR CAMION = 2.3332</b>	<b>FACTOR CAMION = 5.4608</b>

Fuente: elaboración propia.

Ahora se analiza el caso en el que se agrega un sobrepeso del 35% al peso permitido.

Figura 6. Vehículo tipo C-2 y sus cargas reglamentarias aumentadas un 35 %

<b>EJE DELANTERO</b>		<b>EJE TRASERO</b>
5,500 kg + 35%		10,000 Kg + 35%
7,425 Kg		13,500 Kg
16,370.64 lbs		29,764.8 lbs

Fuente: elaboración propia.

Para encontrar el FEC de 16,370.64 libras y 29,764.8 libras se utiliza interpolación.

$$\begin{aligned}
 FEC_{16,370.64 \text{ lbs}} &= \left[ \frac{(FEC_{18,000 \text{ lbs}} - FEC_{16,000 \text{ lbs}})(\text{carga en el eje} - \text{carga inferior})}{(\text{car superior} - \text{car inferior})} \right] + FEC_{16,000 \text{ lbs}} \\
 &= \left[ \frac{(1.00 - 0.645)(16,370.64 - 16,000)}{(18,000 - 16,000)} \right] + 0.645 = \mathbf{0.7107}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FEC_{29,764.8 \text{ lbs}} &= \left[ \frac{(FEC_{30,000 \text{ lbs}} - FEC_{28,000 \text{ lbs}})(\text{car en el eje} - \text{carga inferior})}{(\text{car superior} - \text{car inferior})} \right] + FEC_{28,000 \text{ lbs}} \\
 &= \left[ \frac{(6.8 - 5.21)(29,764.8 - 28,000)}{(30,000 - 28,000)} \right] + 5.21 = \mathbf{6.6130}
 \end{aligned}$$

**Figura 7. Resultados de FEC y FC para un vehículo tipo C-2 con 5 % de sobre peso**

<b>EJE DELANTERO</b>		<b>EJE TRASERO</b>
5,500 kg + 35%		10,000 Kg + 35%
7,425 Kg		13,500 Kg
16,370.64 lbs		29,764.8 lbs
FEC = 0.7107		FEC = 6.6130
<b>FACTOR CAMION = 7.3237</b>		

Fuente: elaboración propia.

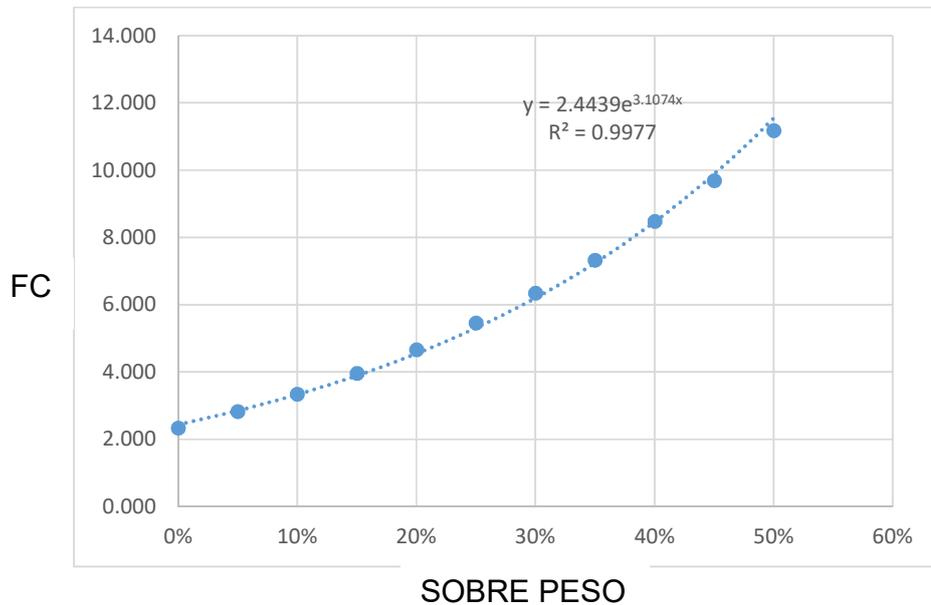
El FC para una sobre carga de 35% es de 7.3237, se puede observar que el valor va aumentando de forma exponencial mientras se le ingresa un valor mayor de sobrecarga, como se demuestra a continuación:

**Tabla XI. FC para sobrepesos de 0 % al 50 %**

	Peso del eje (kg)	peso del eje (lbs)	N.S.	Pt	Factor equivalente de carga	Factor camión
C-2 0% de sobrepeso	5500	12126.4	4	2.5	0.2241	2.3333
	10000	22048	4	2.5	2.1092	
C-2 5% de sobrepeso	5775	12732.72	4	2.5	0.2771	2.8273
	10500	23150.4	4	2.5	2.5502	
C-2 10% de sobrepeso	6050	13339.04	4	2.5	0.3302	3.3491
	11000	24252.8	4	2.5	3.0189	
C-2 15% de sobrepeso	6325	13945.36	4	2.5	0.3832	3.9644
	11500	25355.2	4	2.5	3.5812	
C-2 20% de sobrepeso	6600	14551.68	4	2.5	0.4589	4.6663
	12000	26457.6	4	2.5	4.2074	
C-2 25% de sobrepeso	6875	15158	4	2.5	0.5368	5.4608
	12500	27560	4	2.5	4.9240	
C-2 30% de sobrepeso	7150	15764.32	4	2.5	0.6147	6.3513
	13000	28662.4	4	2.5	5.7366	
C-2 35% de sobrepeso	7425	16370.64	4	2.5	0.7108	7.3238
	13500	29764.8	4	2.5	6.6130	
C-2 40% de sobrepeso	7700	16976.96	4	2.5	0.8184	8.4856
	14000	30867.2	4	2.5	7.6672	
C-2 45% de sobrepeso	7975	17583.28	4	2.5	0.9260	9.6956
	14500	31969.6	4	2.5	8.7696	
C-2 50% de sobrepeso	8250	18189.6	4	2.5	1.0446	11.1846
	15000	33072	4	2.5	10.1400	

Fuente: elaboración propia.

**Figura 8. Línea de tendencia del crecimiento del factor camión para un vehículo tipo C-2 con sobrepesos de 0 % al 50 %.**

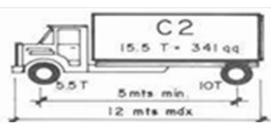


Fuente: elaboración propia.

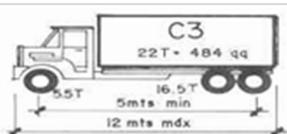
### **3.3. Cálculo de los factores camión por cada tipo de vehículo pesado con el 0 %, 25 % y 35 % de sobrecarga**

Cuando se realizaron los conteos vehiculares se distinguieron los siguientes tipos de vehículos: automóviles, paneles, pick-ups, camiones medianos de 2 ejes, vehículos de 3 ejes, microbuses, buses y vehículos de 4 ejes o más. A continuación se presentan los factores camión por cada tipo de vehículo clasificado como pesado, con un sobrepeso de 0 %, 25 % y 35 %.

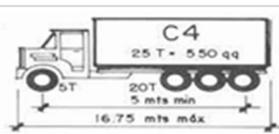
**Factor camión para un vehículo tipo C-2 con sobrepesos del 0 % 25 % y 35 %.**

	<b>C-2</b>	Peso del eje (kg)	peso del eje (lbs)	N.S.	Pt	Factor equivalente de carga	Factor camión
	0% de sobrepeso	5500	12126.4	4	2.5	0.2241	2.3333
		10000	22048	4	2.5	2.1092	
	25% de sobrepeso	6875	15158	4	2.5	0.5368	5.4608
		12500	27560	4	2.5	4.9240	
	35% de sobrepeso	7425	16370.64	4	2.5	0.7108	7.3238
		13500	29764.8	4	2.5	6.6130	

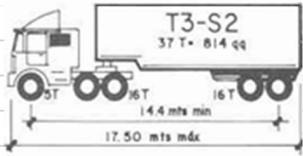
**Factor camión para un vehículo tipo C-3 con sobrepesos del 0 % 25 % y 35 %.**

	<b>C-3</b>	Peso del eje (kg)	peso del eje (lbs)	N.S.	Pt	Factor equivalente de carga	Factor camión
	0% de sobrepeso	5500	12126.4	4	2.5	0.2241	1.661
		16500	36379.2	4	2.5	1.4369	
	25% de sobrepeso	6875	15158	4	2.5	0.5368	3.800
		20625	45474	4	2.5	3.2632	
	35% de sobrepeso	7425	16370.64	4	2.5	0.7108	5.058
		22275	49111.92	4	2.5	4.3469	

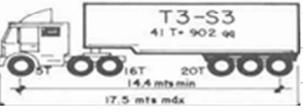
**Factor camión para un vehículo tipo C-4 con sobrepesos del 0 % 25 % y 35 %.**

	<b>C-4</b>	Peso del eje (kg)	peso del eje (lbs)	N.S.	Pt	Factor equivalente de carga	Factor camión
	0% de sobrepeso	5000	11024	4	2.5	0.1588	0.935
		20000	44096	4	2.5	0.7758	
	25% de sobrepeso	6250	13780	4	2.5	0.3688	1.582
		25000	55120	4	2.5	1.2132	
	35% de sobrepeso	6750	14882.4	4	2.5	0.7584	2.294
		27000	59529.6	4	2.5	1.5359	

**Factor camión, vehículo tipo T-3 S2 con sobrepesos del 0 % 25 % y 35 %**

	T3-S2	Peso del eje (kg)	peso del eje (lbs)	N.S.	Pt	Factor equivalente de carga	Factor camión
			0% de sobrepeso	5000	11024	4	2.5
16000	35276.8			4	2.5	1.2824	
16000	35276.8			4	2.5	1.2824	
25% de sobrepeso	6250		13780	4	2.5	0.3688	6.179
	20000		44096	4	2.5	2.9050	
	20000		44096	4	2.5	2.9050	
35% de sobrepeso	6750	14882.4	4	2.5	0.7584	8.500	
	21600	47623.68	4	2.5	3.8709		
	21600	47623.68	4	2.5	3.8709		

**Factor camión, vehículo tipo T3-S3 con sobrepesos del 0 % 25 % y 35 %**

	T3-S3	Peso del eje (kg)	peso del eje (lbs)	N.S.	Pt	Factor equivalente de carga	Factor camión
			0% de sobrepeso	5000	11024	4	2.5
16000	35276.8			4	2.5	1.2824	
20000	44096			4	2.5	0.7758	
25% de sobrepeso	6250		13780	4	2.5	0.3688	4.487
	20000		44096	4	2.5	2.9050	
	25000		55120	4	2.5	1.2132	
35% de sobrepeso	6750	14882.4	4	2.5	0.7584	6.165	
	21600	47623.68	4	2.5	3.8709		
	27000	59529.6	4	2.5	1.5359		

**Factor camión, vehículo tipo T3-S2-R4 con sobrepesos del 0 % 25 % y 35 %**

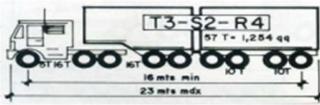
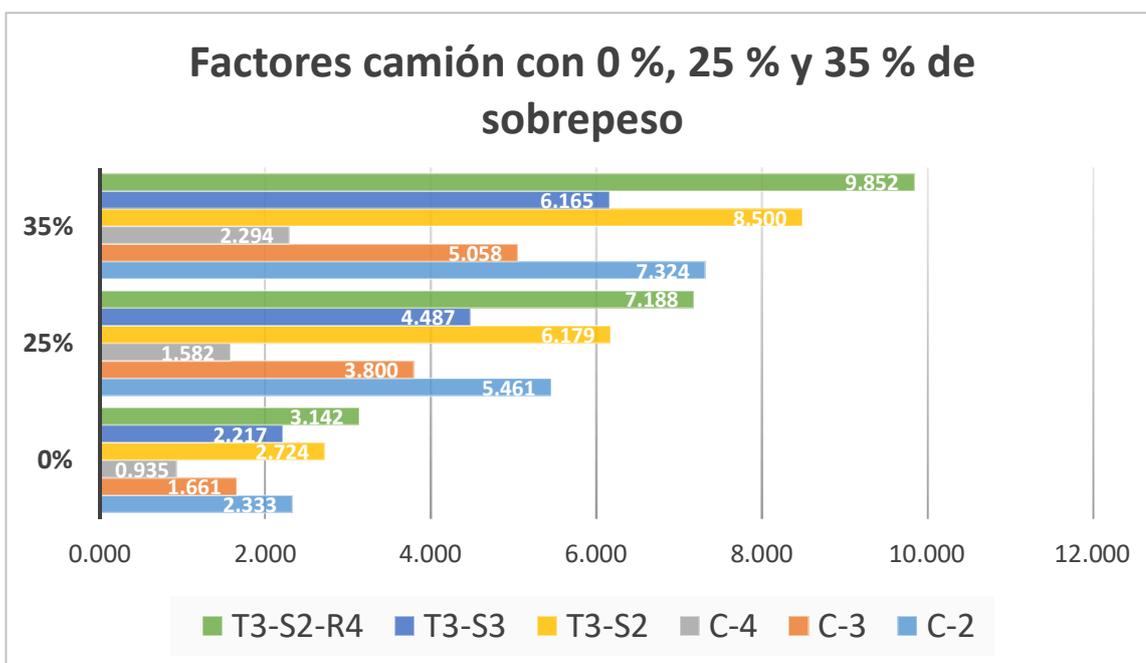
	<b>T3-S2-R4</b>	Peso del eje (kg)	peso del eje (lbs)	N.S.	Pt	Factor equivalente de carga	Factor camión
	0% de sobrepeso	5000	11024	4	2.5	0.1588	3.142
		16000	35276.8	4	2.5	1.2824	
		16000	35276.8	4	2.5	1.2824	
		10000	22048	4	2.5	0.2090	
		10000	22048	4	2.5	0.2090	
	25% de sobrepeso	6250	13780	4	2.5	0.3688	7.188
		20000	44096	4	2.5	2.9050	
		20000	44096	4	2.5	2.9050	
		12500	27560	4	2.5	0.5047	
		12500	27560	4	2.5	0.5047	
	35% de sobrepeso	6750	14882.4	4	2.5	0.7584	9.852
		21600	47623.68	4	2.5	3.8709	
		21600	47623.68	4	2.5	3.8709	
		13500	29764.8	4	2.5	0.6761	
		13500	29764.8	4	2.5	0.6761	

Figura 9. Gráfica comparativa del crecimiento de los valores de factor Camión para vehículos pesado, con un sobrepeso del 0 %, 25 % y 35 %



Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que el vehículo con mayor factor camión es el T3-S2-R4 con un valor de factor camión de 9.852, cabe mencionar que, el que más daño le ocasiona a los pavimentos es el vehículo tipo C-2, ya que si se analiza desde el punto de vista de los factores equivalentes de carga, en donde se toma solo el factor por eje, se tiene el eje de tracción de un C-2 con un valor de factor equivalente de carga de 6.613 para un sobrepeso del 35 %, el siguiente es el eje de tracción de un C-3 con un valor de factor equivalente de carga de 4.34.



## 4. ANÁLISIS TRAMO SIQUINALÁ – COCALES

### 4.1. Conteo vehicular tramo Siquinalá – Cocales

Se toma esta ruta, ya que la CA-2 occidente es una vía muy transitada por el corredor que va desde la frontera de Tecun Uman hasta El Salvador, para el aforo vehicular se estableció una estación en el kilómetro 95+100, para facilitar la toma recopilación según los tipos de vehículos, se elaboró una tabla la cual se muestra a continuación:

Tabla XII. Cuadro para recopilación de datos del conteo vehicular

		PROYECTO: CONTEO VEHICULAR TRAMO DE SIQUINALA A COCALES									
		FECHA:		HORA DE INICIO:			HORA DE FINALIZACION:				
		AFORADOR:		HOJA:			DE:				
		AUTOS	PICK-UPS	CAMIONES DE 2 EJES			VEHICULOS DE 3 EJES		MICROBUSES	BUSES	4 O MAS EJES
INICIO	FIN										
8:00	9:00										
9:00	10:00										
10:00	11:00										
11:00	12:00										
12:00	13:00										
13:00	14:00										

Fuente: elaboración propia.

Los datos del conteo van desde las ocho de la mañana hasta las ocho de la noche, la fecha que se tomó fue según la época del año en que es más

transitada esta carretera, debido al comercio que existe en la zona, iniciando el martes cinco de noviembre del año dos mil trece, y terminando el lunes once del mismo mes y año, a continuación se muestra una tabla del conteo real:

Tabla XIII. Cuadro de conteo (muestra)

INICIO FIN		AUTOS		PICK-UPS		CAMIONES DE 2 EJES			VEHICULOS DE 3 EJES			MICROBUSES	BUSES	4 O MAS EJES	
		C-1	C-2	C-3	C-4	T3-S2	T3-S3	T3-S3							
8:00	9:00	10	15	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10
9:00	10:00	15	20	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15
10:00	11:00	20	25	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20
11:00	12:00	25	30	20	25	20	25	20	25	20	25	20	25	20	25
12:00	13:00	30	35	25	30	25	30	25	30	25	30	25	30	25	30
13:00	14:00	35	40	30	35	30	35	30	35	30	35	30	35	30	35

Fuente: elaboración propia.



Tabla XV. Resumen Tránsito Promedio Diario Anual ruta Siquinalá - Cocales

Clasificación	tipo de vehiculo	Conteo Vehicular	
		24 Horas	
1	automoviles, paneles y jeep 	6532	
2	pick-ups 	3893	
3	camiones medianos (2 ejes)	 C2 15.8 17.1 24.1 m 5.000 kg - 12.000 kg	1220
		 C3 22.7 24.8 32.1 m 7.000 kg - 12.000 kg	350
		 C4 28 29 30 32 m 7.000 kg - 12.000 kg	1
4	vehiculos de (3 ejes)	 T3-S2 22.7 24.8 32.1 m 11.000 kg - 17.000 kg	1190
		 T3-S3 28 29 30 32 m 11.000 kg - 17.000 kg	226
5	microbuses 	161	
6	buses 	551	
7	Vehiculos de 4 ejes o más  T3-S2-R4 28 29 30 32 m 11.000 kg - 17.000 kg	454	

Fuente: elaboración propia.

Se observa que la cantidad de vehículos livianos son la mayoría, pero en esta ruta es muy importante considerar que por ser una vía comercial e industrial las cargas reglamentarias difícilmente se cumplen, ya que no se cuenta con un puesto de pesaje.

Tabla XVI. **Porcentaje de vehículos pesados**

TPD	Vehículos Pesados	
	Cantidad	Porcentaje
<b>14578</b>	<b>3992</b>	<b>27.38%</b>

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. Ejes equivalentes de carga (ESAL's)

Con base a este conteo, se realiza el cálculo de los Esal's, tomando los siguientes datos:

Tipo de pavimento	= Flexible
Período de diseño	= 10 años
SN	= 4
Índice de serviciabilidad inicial	= 4.2
Índice de serviciabilidad final	= 2.5
Factor de dirección	= 0.5
Factor de carril	= 0.8
Desviación estandar (So)	= 0.44
Confiabilidad (R)	= 85%
Módulo resiliente de la subrasante	= 7500 psi

Tabla XVII. Ejes equivalentes de carga ESAL's tramo Siquinalá – Cocales, para pesos reglamentarios

Tipo de Vehículo	0% sobrepeso		Tránsito de diseño	ESAL's Factor	ESAL's de diseño
	Cantidad de Vehículos diarios	Factor de crecimiento			
<b>Vehículos sencillos</b>		<b>4%</b>			
Autos	6532	12.01	28634001.8	0.0004	11453.60072
Pick-ups	3893	12.01	17065549.5	0.0085	145057.1703
<b>Camiones de 2 ejes</b>		<b>2%</b>			
C-2	1220	10.95	4876035	2.33	11361161.55
C-3	350	10.95	1398862.5	1.661	2323510.613
C-4	1	10.95	3996.75	0.935	3736.96125
<b>Vehículos de 3 ejes</b>		<b>6%</b>			
T3-S2	1190	13.18	5724733	2.724	15594172.69
T3-S3	226	13.18	1087218.2	2.217	2410362.749
		<b>4%</b>			
<b>Microbuses</b>	161	12.01	705767.65	2.493	1759478.751
<b>Buses</b>	551	12.01	2415391.15	2.493	6021570.137
		<b>2%</b>			
<b>Vehículos de 4 ejes o más</b>	454	10.95	1814524.5	3.142	5701235.979
<b>TOTAL DE VEHÍCULOS</b>	<b>14578</b>			<b>ESAL's</b>	<b>45331740.20</b>

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de los ESAL's de diseño se procede a multiplicar esta cantidad por el factor carril y el factor dirección.

$$\text{ESAL's por carril de tránsito} = 0.5 * 0.8 * 45,331,740.20 = 18,132,696.08$$

Esta es la cantidad de ESAL's que transita por la ruta con los factores camión resultantes de pesos reglamentarios, a continuación se muestra el cálculo de los ejes equivalentes para un sobrepeso en el transporte pesado de 25 % y 35 %.

Tabla XVIII. Ejes equivalentes de carga ESAL's tramo Siquinalá –  
Cocales para sobrepesos del 25 % en transporte pesado

		25% sobrepeso			
Tipo de Vehículo	Cantidad de Vehículos diarios	Factor de crecimiento	Tránsito de diseño	ESAL's Factor	ESAL's de diseño
<b>Vehículos sencillos</b>		<b>4%</b>			
Autos	6532	12.01	28634001.8	0.0004	11453.60072
Pick-ups	3893	12.01	17065549.5	0.0085	145057.1703
<b>Camiones de 2 ejes</b>		<b>2%</b>			
C-2	1220	10.95	4876035	5.4608	26627051.93
C-3	350	10.95	1398862.5	3.8	5315677.5
C-4	1	10.95	3996.75	1.582	6322.8585
<b>Vehículos de 3 ejes</b>		<b>6%</b>			
T3-S2	1190	13.18	5724733	6.179	35373125.21
T3-S3	226	13.18	1087218.2	4.487	4878348.063
		<b>4%</b>			
<b>Microbuses</b>	161	12.01	705767.65	2.493	1759478.751
<b>Buses</b>	551	12.01	2415391.15	2.493	6021570.137
		<b>2%</b>			
<b>Vehículos de 4 ejes o más</b>	454	10.95	1814524.5	7.188	13042802.11
<b>TOTAL DE VEHÍCULOS</b>		14578		ESAL's	93180887.32

Fuente: elaboración propia.

$$\text{ESAL's por carril de tránsito} = 0.5 * 0.8 * 93,180,887.32 = 37,272,354.93$$

Tabla XIX. Ejes equivalentes de carga ESAL's tramo Siquinalá – Cocales, para sobrepesos del 35 % en transporte pesado

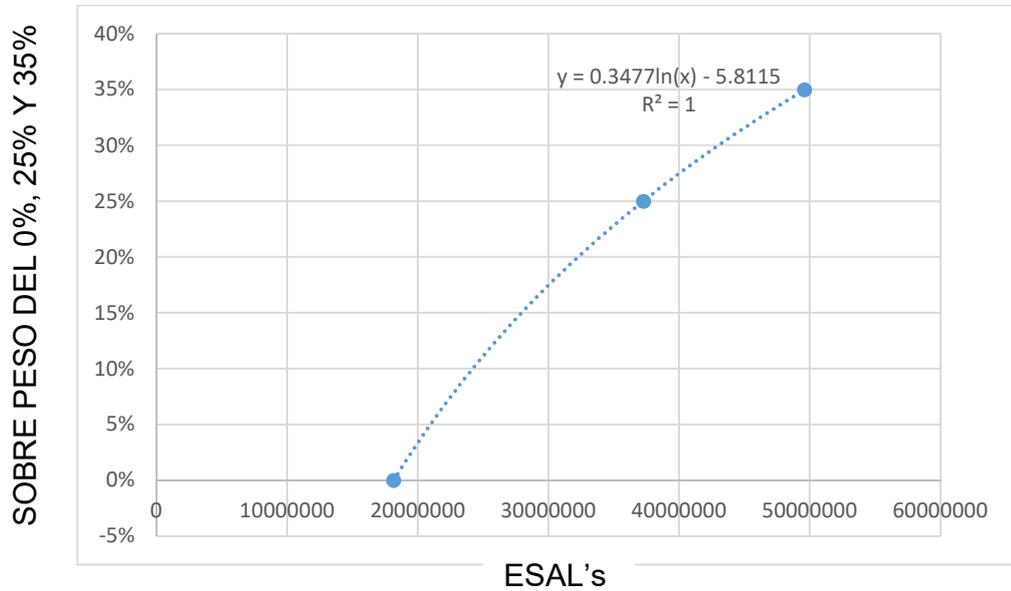
35% sobrepeso					
Tipo de Vehículo	Cantidad de Vehículos diarios	Factor de crecimiento	Tránsito de diseño	ESAL's Factor	ESAL's de diseño
<b>Vehículos sencillos</b>		<b>4%</b>			
Autos	6532	12.01	28634001.8	0.0004	11453.60072
Pick-ups	3893	12.01	17065549.5	0.0085	145057.1703
<b>Camiones de 2 ejes</b>		<b>2%</b>			
C-2	1220	10.95	4876035	7.3238	35711105.13
C-3	350	10.95	1398862.5	5.058	7075446.525
C-4	1	10.95	3996.75	2.294	9168.5445
<b>Vehículos de 3 ejes</b>		<b>6%</b>			
T3-S2	1190	13.18	5724733	8.5	48660230.5
T3-S3	226	13.18	1087218.2	6.165	6702700.203
		<b>4%</b>			
<b>Microbuses</b>	161	12.01	705767.65	2.493	1759478.751
<b>Buses</b>	551	12.01	2415391.15	2.493	6021570.137
		<b>2%</b>			
<b>Vehículos de 4 ejes o más</b>	454	10.95	1814524.5	9.852	17876695.37
<b>TOTAL DE VEHÍCULOS</b>	<b>14578</b>			<b>ESAL's</b>	<b>123972905.94</b>

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{ESAL's por carril de tránsito} = 0.5 * 0.8 * 123,972,905.94 = 49,589,162.38$$

La figura 10 muestra los valores obtenidos de ejes equivalentes de carga para vehículos que transitan con un 0 %, 25 % y 35 % de sobre peso, en la cual se puede ver que al aumentar un 25 % el peso reglamentario los ESAL's aumentan un 110 %. Al aumentar los pesos reglamentarios un 35 % los ESAL's aumentan un 183 %.

Figura 10. Gráfica de valores obtenidos de ESAL's para un 0 %, 25 % y 35 % de sobrepeso.



Fuente: elaboración propia.

#### 4.3. Cálculo de los números estructurales

Se procede a calcular los números estructurales requeridos para cada valor de ESAL's, el programa desarrollado por el ingeniero civil Luis Ricardo Vásquez Varela, resuelve la ecuación propuesta por la AASHTO que permite conocer el valor del SN.

Figura 11. Cálculo del SN para un sobrepeso del 0 %

Fuente: programa desarrollado por el ingeniero civil Luis Ricardo Vásquez Varela.

Los valores ingresados en el programa son: tipo de pavimento = flexible, Confiabilidad (R) = 85 %, desviación estándar (So) = 0.44, Serviciabilidad inicial = 4.2, Serviciabilidad final = 2.5, Módulo resiliente de la subrasante = 7500 psi, Esal de diseño (W18) = 18,132,696.08 (ver figura no.10), y por último da un resultado del número estructural (SN) = 5.19. De igual forma se procede a calcular el SN para un 25% y 35% de sobrepeso.

Figura 12. Cálculo del SN para un sobrepeso del 25 %

**Ecuación AASHTO 93**

**CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)**

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.

Tipo de Pavimento:  Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confianza (R) y Desviación estándar (So): 85 %  $Z_r = -1.037$  So: .44

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial: 4.2 PSI final: 2.5

Módulo resiliente de la subrasante: Mr: 7500 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi):  Coeficiente de transmisión de carga - (k):

Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi):  Coeficiente de drenaje - (Cd):

Tipo de Análisis:  Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural: SN = 5.73

W18 = 37272354.9

Observaciones:

Calcular Salir

Fuente: programa desarrollado por el ingeniero civil Luis Ricardo Vásquez Varela.

Figura 13. Cálculo del SN para un sobrepeso del 35 %

**Ecuación AASHTO 93**

**CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)**

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.

Tipo de Pavimento:  Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confianza (R) y Desviación estándar (So): 85 %  $Z_r = -1.037$  So: .44

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial: 4.2 PSI final: 2.5

Módulo resiliente de la subrasante: Mr: 7500 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi):  Coeficiente de transmisión de carga - (k):

Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi):  Coeficiente de drenaje - (Cd):

Tipo de Análisis:  Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural: SN = 5.96

W18 = 49589162.4

Observaciones:

Calcular Salir

Fuente: programa desarrollado por el ingeniero civil Luis Ricardo Vásquez Varela.

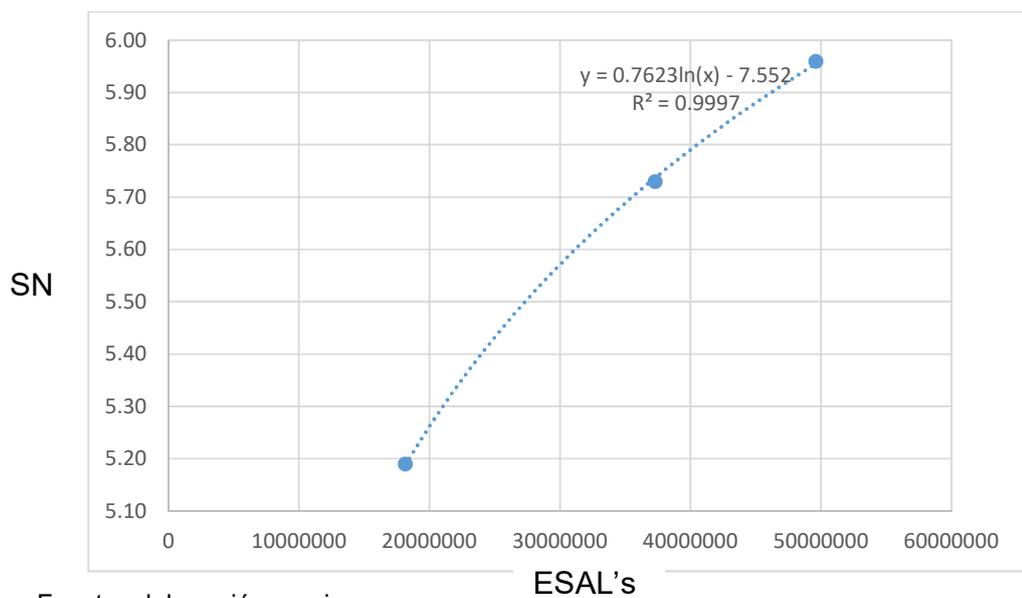
En la tabla XX y figura 14, se puede visualizar el comportamiento de los números estructurales, según los ESAL's obtenidos con y sin sobrepeso.

Tabla XX. **Números estructurales requeridos, según los ESAL's de diseño**

SOBREPESO	ESAL's DE DISEÑO	NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO
0%	18132696.08	5.19
25%	37272354.93	5.73
35%	49589162.38	5.96

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Gráfica SN vs ESAL's**

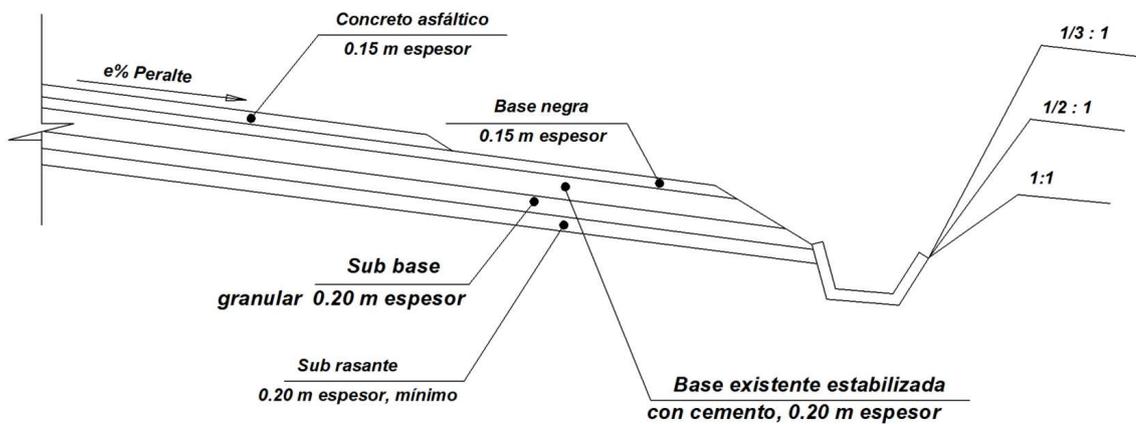
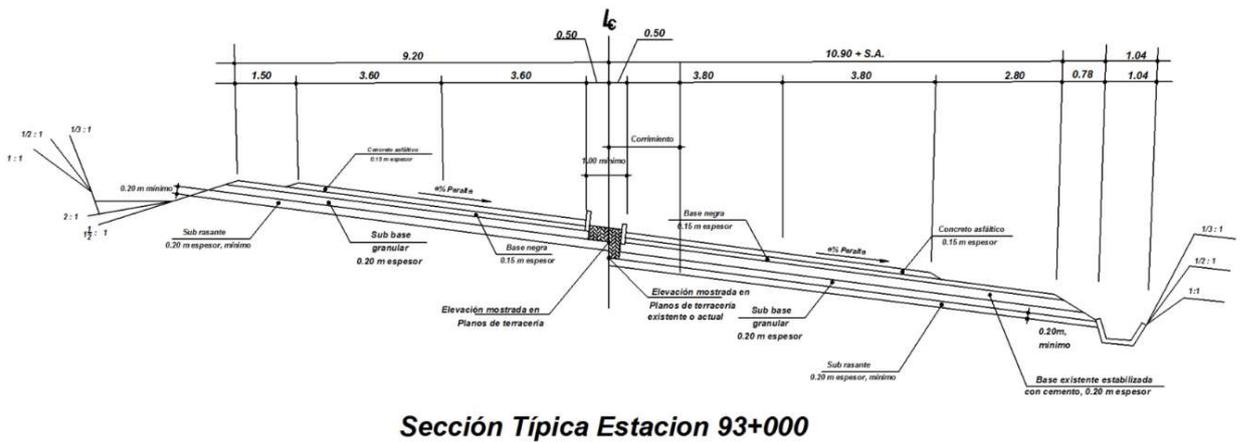


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Número estructural aportado por la estructura actualmente existente en el tramo de Siquinalá – Cocales.

Los datos de las capas de la estructura del pavimento existente en el tramo de Siquinalá a Cocales, se obtuvieron por medio de una visita técnica a las instalaciones de la Dirección General de Caminos, los cuales se muestran en la figura 15.

Figura 15. Estructura de pavimento existente en el tramo de Siquinalá – Cocales



Fuente: Dirección General de Caminos.

Se procede al cálculo del número estructural aportado por esta capa, según el tipo de material o tipo de capa, el coeficiente de drenaje de cada capa y su espesor, En la tabla XXI se presentan estos valores.

Tabla XXI. **Valores de coeficiente de capa y drenaje**

MATERIAL	MR	ai	mi	ESPESOR (pulg)
Concreto Asfáltico	400000	0.42	1	5.91
Base negra	300000	0.36	0.8	5.91
Base estabilizada con Cemento	500000	0.115	0.7	7.87
Sub-base Granular	15000	0.11	0.7	7.87
subrasante	7500			

Fuente: elaboración propia.

El número estructural (SN) aportado se puede encontrar con la siguiente fórmula propuesta por la AASHTO.

$$SN = a_1e_1 + a_2m_2e_2 + a_3m_3e_3 + a_4m_4e_4$$

Donde:

$a_1$  = coeficiente de capa (concreto asfáltico).

$a_2$  = coeficiente de capa (base negra).

$a_3$  = coeficiente de capa (base estabilizada con cemento).

$a_4$  = coeficiente de capa (sub-base granular).

$e_1$  = espesor de capa (concreto asfáltico).

$e_2$  = espesor de capa (base negra).

$e_3$  = espesor de capa (base estabilizada con cemento).

$e_4$  = espesor de capa (sub-base granular).

$m_2$  = coeficiente de drenaje (base negra).

$m_3$  = coeficiente de drenaje (base estabilizada con cemento).

$m_4$  = coeficiente de drenaje (sub-base granular).

Sustituyendo los valores mostrados en la tabla XXI.

$$SN = (0.42)(5.91) + (0.36)(0.8)(5.91) + (0.1115)(0.7)(7.87) + (0.11)(0.7)(7.87)$$
$$SN = 5.42$$

El resultado del número estructural aportado por la estructura existente es de 5.42.

#### **4.5. Análisis de resultados**

El valor del número estructural aportado por la capa existente es de 5.42, se puede observar que la estructura solamente soporta el tránsito sin sobrepeso, ya que como se muestra en la tabla XX para un tránsito con pesos reglamentarios el SN requerido es de 5.19. También se puede observar que la estructura no soportaría las cargas con un sobrepeso de 25 % y 35 %, ya que el número estructural requerido es de 5.73 y 5.96 respectivamente.

El cálculo de los ESAL's se realizó para 10 años, se comprobó que la estructura resiste los 10 años con pesos reglamentarios, ahora se realiza el análisis de la pérdida de vida útil si existen sobrepesos en los vehículos de transporte pesado, es decir, si la estructura resiste 10 años sin sobrepesos, cuantos años resistirá si existen sobrepesos?. Ó en cuantos años se reduce la vida útil si existen sobrepesos?.

Para realizar este análisis se muestra el valor de los ESAL's que soporta el número estructural requerido, este valor se calcula de igual forma con el programa que resuelve la ecuación AASHTO.

Figura 16. Valor de ESAL's según el número estructural aportado por la estructura

Fuente: programa desarrollado por el ingeniero civil Luis Ricardo Vásquez Varela.

Se puede observar que para el SN aportado para la estructura los ejes equivalentes son de 24,800,000, para comparar este resultado con el sobrepeso de 25% y 35% se deben calcular los ESAL's para diferentes años, para luego encontrar en que año se llega a igualar con los ejes que soporta la estructura.

En la tabla XXII se pueden observar los valores de ESAL's para los años 6,7,8,9 y 10, los cuales se encontraron únicamente cambiando el factor de crecimiento por el que corresponde según el año de análisis.

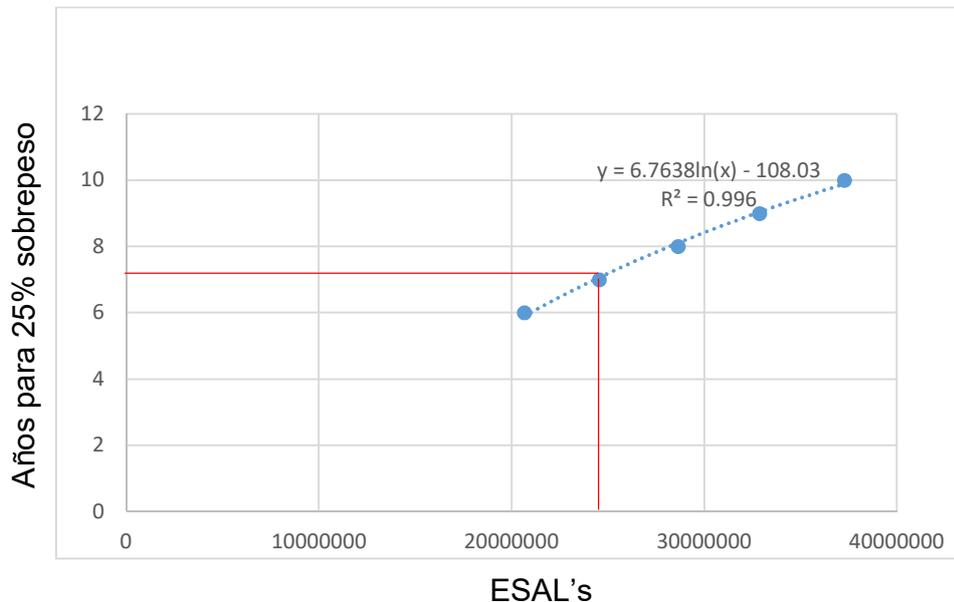
**Tabla XXII. Valores de ESAL's de diseño para 6,7,8,9 y 10 años para un sobrepeso de 25%.**

Tipo de Vehículo	Cantidad de Vehículos diarios	Factor de crecimiento (6 años)	Factor de crecimiento (7 años)	Factor de crecimiento (8 años)	Factor de crecimiento (9 años)	Factor de crecimiento (10 años)	ESAL's Factor	ESAL's de diseño (6 años)	ESAL's de diseño (7 años)	ESAL's de diseño (8 años)	ESAL's de diseño (9 años)	ESAL's de diseño (10 años)
		4%	4%	4%	4%	4%						
Autos	6532	6.63	7.9	9.21	10.58	12.01	0.0004	6322.85	7534.01	8783.32	10089.85	11453.60
Pick-ups	3893	6.63	7.9	9.21	10.58	12.01	0.0085	80077.36	95416.46	111238.68	127785.58	145057.17
		2%	2%	2%	2%	2%						
C-2	1220	6.31	7.43	8.58	9.75	10.95	5.4608	15343990.65	18067488.20	20863936.58	23709018.84	26627051.93
C-3	350	6.31	7.43	8.58	9.75	10.95	3.8	3063189.50	3606893.50	4165161.00	4733137.50	5315677.50
C-4	1	6.31	7.43	8.58	9.75	10.95	1.582	3643.58	4290.30	4954.35	5629.94	6322.86
		6%	6%	6%	6%	6%						
T3-S2	1190	6.98	8.39	9.9	11.49	13.18	6.179	18733263.58	22517490.17	26570101.64	30837420.99	35373125.21
T3-S3	226	6.98	8.39	9.9	11.49	13.18	4.487	2583525.76	3105412.77	3664313.04	4252823.92	4878348.06
		4%	4%	4%	4%	4%						
Microbuses	161	6.63	7.9	9.21	10.58	12.01	2.493	971302.59	1157359.05	1349275.55	1549982.11	1759478.75
Buses	551	6.63	7.9	9.21	10.58	12.01	2.493	3324147.38	3960899.59	4617706.99	5304597.17	6021570.14
		2%	2%	2%	2%	2%						
Vehículos de 4 ejes o más	454	6.31	7.43	8.58	9.75	10.95	7.188	7515989.16	8850047.46	10219839.46	11613453.93	13042802.11
							ESAL's	51625452.40	61372831.51	71575310.59	82143939.84	93180887.32
							ESAL's de diseño	20650180.96	24549132.6	28630124.24	32857575.94	37272354.93

Fuente: elaboración propia.

En la figura 17 se muestran los resultados de los ESAL's de diseño para diferentes años, y se intercepta el valor de años para los 24,800,000 ejes que soporta la estructura.

Figura 17. Valores de ESAL's de diseño para 6,7,8,9 y 10 años para un sobrepeso de 25 %



Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que para un sobrepeso de 25 % se alcanza el valor de ESAL's soportado por la estructura a los 7 años aproximadamente, esto quiere decir que se redujo la vida útil del pavimento 3 años, para presentar un valor más exacto se puede resolver la ecuación logarítmica que describe el comportamiento de la curva en la figura 17, ingresando los ejes resultantes (24,800,000) para un SN de 5.42.

La ecuación es la siguiente:

$$Y = 6.7638(LN(x)) - 108.03$$

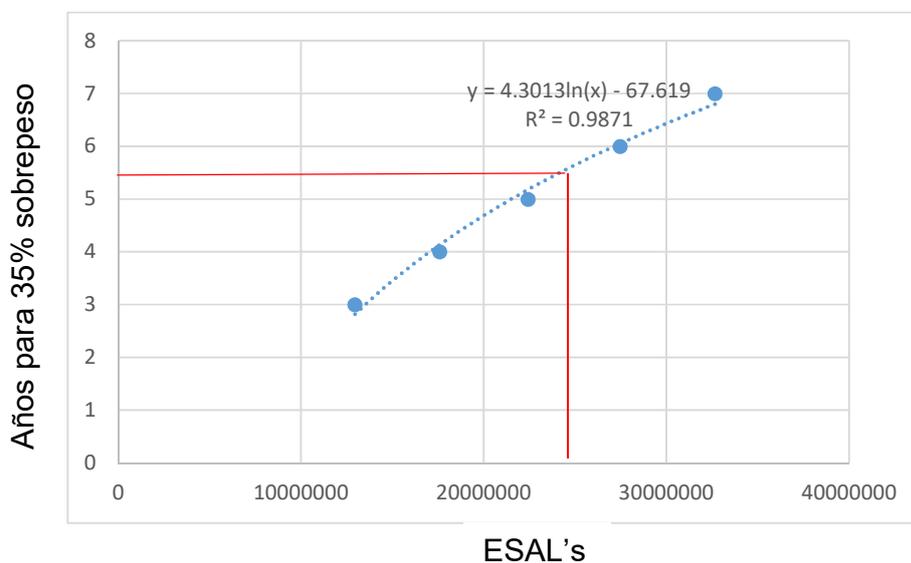
$$Y = 6.7638(LN(24,800,000)) - 108.03$$

$$Y = 7.13.$$

De igual forma se presentan los resultados para un sobrepeso del 35 %.



Figura 18. Valores de ESAL's de diseño para 3,4,5,6 y 7 años para un sobrepeso de 35 %



Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que para un sobrepeso de 35 % se alcanza el valor de ESAL's soportado por la estructura a los 5.5 años aproximadamente, esto quiere decir que se redujo la vida útil del pavimento 4.5 años, para presentar un valor más exacto se puede resolver la ecuación logarítmica que describe el comportamiento de la curva en la figura 18, ingresando los ejes resultantes (24,800,000) para un SN de 5.42.

La ecuación es la siguiente:

$$Y = 4.3013(LN(x)) - 67.619$$

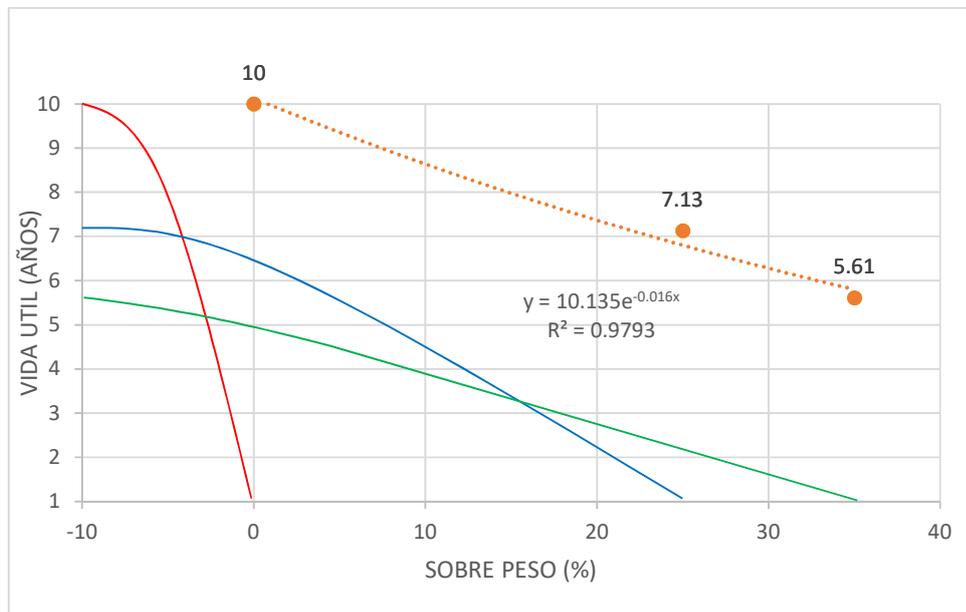
$$Y = 4.3013(LN(24,800,000)) - 67.619$$

$$Y = 5.61.$$

Con esto se demuestra que para un sobrepeso de 25% la vida útil de la carretera de Siquinalá a Cocales se reduce  $10 - 7.13 = 2.87$  años, y para una sobrecarga de 35%  $10 - 5.61 = 4.39$  años, teniendo estos valores se da evidencia del gran daño que causan las sobrecargas en la carreteras, y que se deben tomar medidas para el control y pesaje del transporte pesado.

Para poder visualizar el comportamiento de la pérdida de vida útil con respecto al aumento de sobre peso en el transporte pesado, a continuación se presenta la figura 19.

**Figura 19. Pérdida de vida útil en años, según el sobre peso en el transporte pesado**



Fuente: elaboración propia.

Luego de tener la ecuación de esta gráfica se puede calcular la vida útil del pavimento para cualquier sobre peso añadido.



## CONCLUSIONES

1. Las sobre cargas vehiculares afectan considerablemente el comportamiento de los pavimentos en su pérdida de serviciabilidad, ya que el sobre peso aumenta los ejes equivalentes de carga, y debido a esto se requieren mejores estructuras que las diseñadas sin tomar en cuenta estos cambios.
2. La cantidad de ejes equivalentes aumenta exponencialmente al aumentar el sobre peso, ya que este afecta al cálculo del factor camión por cada tipo de vehículo.
3. La estructura de pavimento existente en el tramo de Siquinalá a Cocalés soporta los ejes equivalentes de carga sin sobre pesos, calculados a partir del conteo vehicular.
4. La estructura de pavimento existente en el tramo de Siquinalá a Cocalés no soporta los ejes equivalentes de carga con sobre pesos del 25 % y 35 %.
5. Al agregar un sobre peso en el transporte pesado del 25 %, la vida útil de la estructura existente en el tramo de Siquinalá a Cocalés, se reduce de 10 años a 7.13 años.
6. Al agregar un sobre peso en el transporte pesado del 35 %, la vida útil de la estructura existente en el tramo de Siquinalá a Cocalés, se reduce de 10 años a 5.61 años.

7. El sobrepeso en las carreteras influye en el nivel de servicio de la carretera, ya que si se deteriora rápidamente la estructura los autos se desplazarán con menos velocidad y esto provocaría congestiones.
8. El sobre peso de un 25 % reduce la vida útil a 7.13 años, por lo que la carretera reducirá su nivel de servicio en los 2.87 años que le faltan para cumplir el tiempo para el cual fue diseñada, esto debido a que el deterioro ocasiona que los vehículos transiten con una menor velocidad y con esto aparece el congestionamiento vehicular.

## RECOMENDACIONES

1. La construcción de carreteras en Guatemala es una inversión pública, se debe tomar precauciones para que esta sea la óptima, en cuanto al cumplimiento de su vida útil y al menor mantenimiento posible, se recomienda mejorar el control de pesos, por medio de garitas de control y puestos de básculas.
2. Promover la concientización del daño que los sobre pesos causan a las carreteras, por medio de un departamento el cual realice jornadas para dar a conocer la ley de pesos y dimensiones, especialmente a la zona industrial.
3. Es importante mejorar el vínculo entre el sector público y privado, para así regularizar los sobre pesos en el transporte pesado, ya que ambos sectores hacen uso de las carreteras en el país.
4. Como las carreteras son de uso, tanto por el sector público como el privado, las empresas e industrias privadas pueden crear un departamento financiado por ellos, para controlar el peso del transporte pesado, esto sería de beneficio también para ellos, ya que si las carreteras se mantienen en buen estado, podrían reducir sus costos de transporte.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Association Of State Highway And Transportation Officials (1993). *Guide for design of pavement structures*. Estados Unidos.
2. Coronado Iturbide, J. (2002) *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
3. Ministerio de Comunicación, Infraestructura Y Vivienda (Acuerdo Gubernativo 1084-92) *Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores y sus combinaciones*, Guatemala.
4. Casprowitz Arias, L. A. (2010). *Determinación de factores camión para el diseño de pavimentos flexibles en Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
5. Coronado Brolo, J. M. (2009). *La infraestructura vial y el transporte, caso ruta del Atlántico*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
6. Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones, infraestructura y vivienda (2001). *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, Guatemala.

7. De León López, H. E. (2011) *Guía para el diseño de estructura de pavimento flexible y rígido de acuerdo con el módulo resiliente y el módulo de reacción de la subrasante*, Guatemala.
8. Salguero Hernández, M. T. (2003) *Implementación y modernización en los sistemas de pesajes, para el mejor control de unidades vehiculares con carga pesada que transitan sobre la red vial de Guatemala*, Guatemala.
9. Garnica Anguas, P. (2008) *Espectros de carga y daño para diseño de pavimentos*, México.
10. Troncoso Rivera, J. R. (2011) *Evaluación del espectro de carga y coeficientes de daño en el corredor de la avenida Boyacá*, Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

## **ANEXO A**

### **FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA.**

**Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes  
simples, pt=2.0**

Carga p/eje (kips) <sup>6</sup>	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes  
tándem, Pt=2.0**

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem,  
Pt=2.0**

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
8	0.0009	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007
10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
12	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
14	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
16	0.010	0.012	0.012	0.010	0.009	0.009
18	0.016	0.019	0.019	0.017	0.015	0.015
20	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
22	0.034	0.042	0.042	0.038	0.035	0.034
24	0.049	0.058	0.060	0.055	0.051	0.048
26	0.068	0.080	0.083	0.077	0.071	0.068
28	0.093	0.107	0.113	0.105	0.098	0.094
30	0.125	0.140	0.149	0.140	0.131	0.126
32	0.164	0.182	0.194	0.184	0.173	0.167
34	0.213	0.233	0.248	0.238	0.225	0.217
36	0.273	0.294	0.313	0.303	0.288	0.279
38	0.346	0.368	0.390	0.381	0.364	0.353
40	0.434	0.456	0.481	0.473	0.454	0.443
42	0.538	0.560	0.587	0.580	0.561	0.548
44	0.662	0.682	0.710	0.705	0.686	0.673
46	0.807	0.825	0.852	0.849	0.831	0.818
48	0.976	0.992	1.015	1.014	0.999	0.987
50	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	3.10	3.05	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.90	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.2	10.8	10.1	9.6	9.8	10.2
84	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	15.5	15.0	13.8	13.0	13.2	13.8
90	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt=2.5**

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
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	0.010	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	0.080
12	0.168	0.198	0.229	0.213	0.189	0.176
14	0.328	0.358	0.399	0.388	0.360	0.342
16	0.591	0.613	0.646	0.645	0.623	0.606
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
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	5.90	5.21	5.39	5.98
30	10.3	9.5	7.9	6.8	7.0	7.8
32	13.9	12.8	10.5	8.8	8.9	10.0
34	18.4	16.9	13.7	11.3	11.2	12.5
36	24.0	22.0	17.7	14.4	13.9	15.5
38	30.9	28.3	22.6	18.1	17.2	19.0
40	39.3	35.9	28.5	22.5	21.1	23.0
42	49.3	45.0	35.6	27.8	25.6	27.7
44	61.3	55.9	44.0	34.0	31.0	33.1
46	75.5	68.8	54.0	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.

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes  
tándem, Pt=2.5**

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
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	0.070	0.057	0.047	0.043
18	0.070	0.097	0.109	0.092	0.077	0.070
20	0.107	0.141	0.162	0.141	0.121	0.110
22	0.160	0.198	0.229	0.207	0.180	0.166
24	0.231	0.273	0.315	0.292	0.260	0.242
26	0.327	0.370	0.420	0.401	0.364	0.342
28	0.451	0.493	0.548	0.534	0.495	0.470
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	1.70	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	3.00	3.16
46	4.18	3.98	3.58	3.40	3.55	3.79
48	5.08	4.80	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	29.0	26.6	21.5	17.6	17.2	19.2
72	33.0	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	48.0	43.9	35.0	27.8	26.2	28.8
80	54.0	49.4	39.2	30.9	29.0	31.7
82	60.6	55.4	43.9	34.4	32.0	34.8
84	67.8	61.9	49.0	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

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem,**

**Pt=2.5**

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
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	0.010	0.008	0.006	0.006
16	0.012	0.019	0.018	0.013	0.011	0.010
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	0.060	0.048	0.040	0.036
24	0.053	0.078	0.084	0.068	0.057	0.051
26	0.072	0.103	0.114	0.095	0.080	0.072
28	0.098	0.133	0.151	0.128	0.109	0.099
30	0.129	0.169	0.195	0.170	0.145	0.133
32	0.169	0.213	0.247	0.220	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	1.20	1.24	1.25	1.22	1.20
52	1.40	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	1.90	1.90	1.91	1.93
58	2.29	2.25	2.17	2.16	2.20	2.24
60	2.67	2.60	2.48	2.44	2.51	2.58
62	3.09	3.00	2.82	2.76	2.85	2.95
64	3.57	3.44	3.19	3.10	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	4.30
70	5.38	5.11	4.57	4.32	4.52	4.84
72	6.12	5.79	5.13	4.80	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	9.0
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: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt=3.0**

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0008	0.0009	0.0006	0.0003	0.0002	0.0002
4	0.004	0.008	0.006	0.004	0.002	0.002
6	0.014	0.030	0.028	0.018	0.012	0.010
8	0.035	0.070	0.080	0.055	0.040	0.034
10	0.082	0.132	0.168	0.132	0.101	0.086
12	0.173	0.231	0.296	0.260	0.212	0.187
14	0.332	0.388	0.468	0.447	0.391	0.358
16	0.594	0.633	0.695	0.693	0.651	0.622
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.60	1.53	1.41	1.38	1.44	1.51
22	2.47	2.29	1.96	1.83	1.97	2.16
24	3.67	3.33	2.69	2.39	2.60	2.96
26	5.29	4.72	3.65	3.08	3.33	3.91
28	7.43	6.56	4.88	3.93	4.17	5.00
30	10.2	8.9	6.5	5.0	5.1	6.3
32	13.8	12.0	8.4	6.2	6.3	7.7
34	18.2	15.7	10.9	7.8	7.6	9.3
36	23.8	20.4	14.0	9.7	9.1	11.0
38	30.6	26.2	17.7	11.9	11.0	13.0
40	38.8	33.2	22.2	14.6	13.1	15.3
42	48.8	41.6	27.6	17.8	15.5	17.8
44	60.6	51.6	34.0	21.6	18.4	20.6
46	74.7	63.4	41.5	26.1	21.6	23.8
48	91.2	77.3	50.3	31.3	25.4	27.4
50	110.	94.	61.	37.	30.	32.

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes  
tándem, Pt=3.0**

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
6	0.003	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001
8	0.006	0.011	0.009	0.005	0.003	0.003
10	0.011	0.024	0.020	0.012	0.008	0.007
12	0.019	0.042	0.039	0.024	0.017	0.014
14	0.031	0.066	0.068	0.045	0.032	0.026
16	0.049	0.096	0.109	0.076	0.055	0.046
18	0.075	0.134	0.164	0.121	0.090	0.076
20	0.113	0.181	0.232	0.182	0.139	0.119
22	0.166	0.241	0.313	0.260	0.205	0.178
24	0.238	0.317	0.407	0.358	0.292	0.257
26	0.333	0.413	0.517	0.476	0.402	0.360
28	0.457	0.534	0.643	0.614	0.538	0.492
30	0.616	0.684	0.788	0.773	0.702	0.656
32	0.817	0.870	0.956	0.953	0.896	0.855
34	1.07	1.10	1.15	1.15	1.12	1.09
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.71	1.64	1.62	1.66	1.70
40	2.21	2.11	1.94	1.89	1.98	2.08
42	2.75	2.59	2.29	2.19	2.33	2.50
44	3.39	3.15	2.70	2.52	2.71	2.97
46	4.15	3.81	3.16	2.89	3.13	3.50
48	5.04	4.58	3.70	3.29	3.57	4.07
50	6.08	5.47	4.31	3.74	4.05	4.70
52	7.27	6.49	5.01	4.24	4.57	5.37
54	8.65	7.67	5.81	4.79	5.13	6.10
56	10.2	9.0	6.7	5.4	5.7	6.9
58	12.0	10.6	7.7	6.1	6.4	7.7
60	14.1	12.3	8.9	6.8	7.1	9.8
62	16.3	14.2	10.2	7.7	7.8	9.5
64	18.9	16.4	11.6	8.6	8.6	10.5
66	21.8	18.9	13.2	9.6	9.5	11.6
68	25.1	21.7	15.0	10.7	10.5	12.7
70	28.7	24.7	17.0	12.0	11.5	13.9
72	32.7	28.1	19.2	13.3	12.6	15.2
74	37.2	31.9	21.6	14.8	13.8	16.5
76	42.1	36.0	24.3	16.4	15.1	17.9
78	47.5	40.6	27.3	18.2	16.5	19.4
80	53.4	45.7	30.5	20.1	18.0	21.0
82	60.0	51.2	34.0	22.2	19.6	22.7
84	67.1	57.2	37.9	24.6	21.3	24.5
86	74.9	63.8	42.1	27.1	23.2	26.4
88	83.4	71.0	46.7	29.8	25.2	28.4
90	92.7	78.8	51.7	32.7	27.4	30.5

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem,  
Pt=3.0**

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
8	0.003	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001
10	0.005	0.008	0.005	0.003	0.002	0.002
12	0.007	0.014	0.010	0.006	0.004	0.003
14	0.011	0.023	0.018	0.011	0.007	0.006
16	0.016	0.035	0.030	0.018	0.013	0.010
18	0.022	0.050	0.047	0.029	0.020	0.017
20	0.031	0.069	0.069	0.044	0.031	0.026
22	0.043	0.090	0.097	0.065	0.046	0.039
24	0.059	0.116	0.132	0.092	0.066	0.056
26	0.079	0.145	0.174	0.126	0.092	0.078
28	0.104	0.179	0.223	0.168	0.126	0.107
30	0.136	0.218	0.279	0.219	0.167	0.143
32	0.176	0.265	0.342	0.279	0.218	0.188
34	0.226	0.319	0.413	0.350	0.279	0.243
36	0.286	0.382	0.491	0.432	0.352	0.310
38	0.359	0.456	0.577	0.524	0.437	0.389
40	0.447	0.543	0.671	0.626	0.536	0.483
42	0.550	0.643	0.775	0.740	0.649	0.593
44	0.673	0.760	0.889	0.865	0.777	0.720
46	0.817	0.894	1.014	1.001	0.920	0.865
48	0.984	1.048	1.152	1.148	1.080	1.030
50	1.18	1.23	1.30	1.31	1.26	1.22
52	1.40	1.43	1.47	1.48	1.45	1.43
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.92	1.86	1.85	1.88	1.91
58	2.28	2.21	2.09	2.06	2.13	2.20
60	2.66	2.54	2.34	2.28	2.39	2.50
62	3.08	2.92	2.61	2.52	2.66	2.84
64	3.56	3.33	2.92	2.77	2.96	3.19
66	4.09	3.79	3.25	3.04	3.27	3.58
68	4.68	4.31	3.62	3.33	3.60	4.00
70	5.34	4.88	4.02	3.64	3.94	4.44
72	6.08	5.51	4.46	3.97	4.31	4.91
74	6.89	6.21	4.94	4.32	4.69	5.40
76	7.78	6.98	5.47	4.70	5.09	5.93
78	8.76	7.83	6.04	5.11	5.51	6.48
80	9.84	8.75	6.67	5.54	5.96	7.06
82	11.0	9.8	7.4	6.0	6.4	7.7
84	12.3	10.9	8.1	6.5	6.9	8.3
86	13.7	12.1	8.9	7.0	7.4	9.0
88	15.3	13.4	9.8	7.6	8.0	9.6
90	16.9	14.8	10.7	8.2	8.5	10.4

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples,  
Pt=2.0**

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	0.035	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.087	0.084	0.082	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
12	0.186	0.180	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173	0.173
14	0.353	0.346	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336	0.336
16	0.614	0.609	0.604	0.601	0.599	0.599	0.598	0.598	0.598
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.55	1.56	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59	1.59
22	2.32	2.32	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41	2.42
24	3.37	3.34	3.40	3.47	3.51	3.53	3.54	3.55	3.55
26	4.76	4.69	4.77	4.88	4.97	5.02	5.04	5.06	5.06
28	6.48	6.44	6.52	6.70	6.85	6.94	7.00	7.02	7.04
30	8.92	8.68	8.74	8.98	9.23	9.39	9.48	9.54	9.56
32	11.9	11.5	11.5	11.8	12.2	12.4	12.6	12.7	12.7
34	15.5	15.0	14.9	15.3	15.8	16.2	16.4	16.6	16.7
36	20.1	19.3	19.2	19.5	20.1	20.7	21.1	21.4	21.5
38	25.6	24.5	24.3	24.6	25.4	26.1	26.7	27.1	27.4
40	32.2	30.8	30.4	30.7	31.6	32.6	33.4	34.0	34.4
42	40.1	38.4	37.7	38.0	38.9	40.1	41.3	42.1	42.7
44	49.4	47.3	46.4	46.6	47.6	49.0	50.4	51.6	52.7
46	60.4	57.7	56.6	56.7	57.7	59.3	61.1	62.6	63.7
48	73.2	69.9	68.4	68.4	69.4	71.2	73.3	75.3	76.8
50	88.0	84.1	82.2	82.0	83.0	84.9	87.4	89.8	91.7

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tándem,  
Pt=2.0**

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
10	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.028	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.051	0.049	0.048	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.087	0.084	0.082	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080
18	0.141	0.136	0.133	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.216	0.210	0.206	0.204	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203
22	0.319	0.313	0.307	0.305	0.304	0.303	0.303	0.303	0.303
24	0.454	0.449	0.444	0.441	0.440	0.439	0.439	0.439	0.439
26	0.629	0.626	0.622	0.620	0.618	0.618	0.618	0.618	0.618
28	0.852	0.851	0.850	0.850	0.850	0.849	0.849	0.849	0.849
30	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.48	1.48	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
34	1.90	1.90	1.93	1.95	1.96	1.97	1.97	1.97	1.97
36	2.42	2.41	2.45	2.49	2.51	2.52	2.53	2.53	2.53
38	3.04	3.02	3.07	3.13	3.17	3.19	3.20	3.20	3.21
40	3.79	3.74	3.80	3.89	3.95	3.98	4.00	4.01	4.01
42	4.67	4.59	4.66	4.78	4.87	4.93	4.95	4.97	4.97
44	5.72	5.59	5.67	5.82	5.95	6.03	6.07	6.09	6.10
46	6.94	6.76	6.83	7.02	7.20	7.31	7.37	7.41	7.43
48	8.36	8.12	8.17	8.40	8.63	8.79	8.88	8.93	8.96
50	10.00	9.69	9.72	9.98	10.27	10.49	10.62	10.69	10.73
52	11.9	11.5	11.5	11.8	12.1	12.4	12.6	12.7	12.8
54	14.0	13.5	13.5	13.8	14.2	14.6	14.9	15.0	15.1
56	16.5	15.9	15.8	16.1	16.6	17.1	17.4	17.6	17.7
58	19.3	18.5	18.4	18.7	19.3	19.8	20.3	20.5	20.7
60	22.4	21.5	21.3	21.6	22.3	22.9	23.5	23.8	24.0
62	25.9	24.9	24.6	24.9	25.6	26.4	27.0	27.5	27.7
64	29.9	28.6	28.2	28.5	29.3	30.2	31.0	31.6	31.9
66	34.3	32.8	32.3	32.6	33.4	34.4	35.4	36.1	36.5
68	39.2	37.5	36.8	37.1	37.9	39.1	40.2	41.1	41.6
70	44.6	42.7	41.9	42.1	42.9	44.2	45.5	46.6	47.3
72	50.6	48.4	47.5	47.6	48.5	49.9	51.4	52.6	53.5
74	57.3	54.7	53.6	53.6	54.6	56.1	57.7	59.2	60.3
76	64.6	61.7	60.4	60.3	61.2	62.8	64.7	66.4	67.7
78	72.5	69.3	67.8	67.7	68.6	70.2	72.3	74.3	75.8
80	81.3	77.6	75.9	75.7	76.6	78.3	80.6	82.8	84.7
82	90.9	86.7	84.7	84.4	85.3	87.1	89.6	92.1	94.2
84	101.	97.	94.	94.	95.	97.	99.	102.	105.
86	113.	107.	105.	104.	105.	107.	110.	113.	116.
88	125.	119.	116.	116.	116.	118.	121.	125.	128.
90	138.	132.	129.	128.	129.	131	134.	137.	141.

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tridem,  
Pt=2.0**

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
6	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
10	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
12	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
16	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
18	0.047	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
20	0.072	0.069	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
22	0.105	0.101	0.099	0.098	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097
24	0.149	0.144	0.141	0.139	0.139	0.138	0.138	0.138	0.138
26	0.205	0.199	0.195	0.194	0.193	0.192	0.192	0.192	0.192
28	0.276	0.270	0.265	0.263	0.262	0.262	0.262	0.262	0.261
30	0.364	0.359	0.354	0.351	0.350	0.349	0.349	0.349	0.349
32	0.472	0.468	0.463	0.460	0.459	0.458	0.458	0.458	0.458
34	0.603	0.600	0.596	0.594	0.593	0.592	0.592	0.592	0.592
36	0.759	0.758	0.757	0.756	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755
38	0.946	0.947	0.949	0.950	0.951	0.951	0.951	0.951	0.951
40	1.17	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.19
42	1.42	1.43	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
44	1.73	1.73	1.75	1.77	1.78	1.78	1.79	1.79	1.79
46	2.08	2.07	2.10	2.13	2.15	2.16	2.16	2.16	2.17
48	2.48	2.47	2.51	2.55	2.58	2.59	2.80	2.60	2.61
50	2.95	2.92	2.97	3.03	3.07	3.09	3.10	3.11	3.11
52	3.48	3.44	3.50	3.58	3.63	3.66	3.68	3.69	3.69
54	4.09	4.03	4.09	4.20	4.27	4.31	4.33	4.35	4.35
56	4.78	4.69	4.76	4.89	4.99	5.05	5.08	5.09	5.10
58	5.57	5.44	5.51	5.66	5.79	5.87	5.91	5.94	5.95
60	6.45	6.29	6.35	6.53	6.69	6.79	6.85	6.88	6.90
62	7.43	7.23	7.28	7.49	7.69	7.82	7.90	7.94	7.97
64	8.54	8.28	8.32	8.55	8.80	8.97	9.07	9.13	9.16
66	9.76	9.46	9.48	9.73	10.02	10.24	10.37	10.44	10.48
68	11.1	10.8	10.8	11.0	11.4	11.6	11.8	11.9	12.0
70	12.6	12.2	12.2	12.5	12.8	13.2	13.4	13.5	13.6
72	14.3	13.8	13.7	14.0	14.5	14.9	15.1	15.3	15.4
74	16.1	15.5	15.4	15.7	16.2	16.7	17.0	17.2	17.3
76	18.2	17.5	17.3	17.6	18.2	18.7	19.1	19.3	19.5
78	20.4	19.6	19.4	19.7	20.3	20.9	21.4	21.7	21.8
80	22.8	21.9	21.6	21.9	22.6	23.3	23.8	24.2	24.4
82	25.4	24.4	24.1	24.4	25.0	25.8	26.5	26.9	27.2
84	28.3	27.1	26.7	27.0	27.7	28.6	29.4	29.9	30.2
86	31.4	30.1	29.6	29.9	30.7	31.6	32.5	33.1	33.5
88	34.8	33.3	32.8	33.0	33.8	34.8	35.8	36.6	37.1
90	38.5	36.8	36.2	36.4	37.2	38.3	39.4	40.3	40.9

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples,  
Pt=2.5**

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.012	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	0.039	0.035	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.097	0.089	0.084	0.082	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080
12	0.203	0.189	0.181	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173
14	0.376	0.360	0.347	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336
16	0.634	0.623	0.610	0.604	0.601	0.599	0.599	0.599	0.598
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.51	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59
22	2.21	2.20	2.28	2.34	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41
24	3.16	3.10	3.22	3.36	3.45	3.50	3.53	3.54	3.55
26	4.41	4.26	4.42	4.67	4.85	4.95	5.01	5.04	5.05
28	6.05	5.76	5.92	6.29	6.61	6.81	6.92	6.98	7.01
30	8.16	7.67	7.79	8.28	8.79	9.14	9.35	9.46	9.52
32	10.8	10.1	10.1	10.7	11.4	12.0	12.3	12.6	12.7
34	14.1	13.0	12.9	13.6	14.6	15.4	16.0	16.4	16.5
36	18.2	16.7	16.4	17.1	18.3	19.5	20.4	21.0	21.3
38	23.1	21.1	20.6	21.3	22.7	24.3	25.6	26.4	27.0
40	29.1	26.5	25.7	26.3	27.9	29.9	31.6	32.9	33.7
42	36.2	32.9	31.7	32.2	34.0	36.3	38.7	40.4	41.6
44	44.6	40.4	38.8	39.2	41.0	43.8	46.7	49.1	50.8
46	54.5	49.3	47.1	47.3	49.2	52.3	55.9	59.0	61.4
48	66.1	59.7	56.9	56.8	58.7	62.1	66.3	70.3	73.4
50	79.4	71.7	68.2	67.8	69.6	73.3	78.1	83.0	87.1

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tándem,  
Pt=2.5**

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
10	0.015	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.031	0.028	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.057	0.052	0.049	0.048	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.097	0.089	0.084	0.082	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080
18	0.155	0.143	0.136	0.133	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.234	0.220	0.211	0.206	0.204	0.203	0.203	0.203	0.203
22	0.340	0.325	0.313	0.308	0.305	0.304	0.303	0.303	0.303
24	0.475	0.462	0.450	0.444	0.441	0.440	0.439	0.439	0.439
26	0.644	0.637	0.627	0.622	0.620	0.619	0.618	0.618	0.618
28	0.855	0.854	0.852	0.850	0.850	0.850	0.849	0.849	0.849
30	1.11	1.12	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.43	1.44	1.47	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51
34	1.82	1.82	1.87	1.92	1.95	1.96	1.97	1.97	1.97
36	2.29	2.27	2.35	2.43	2.48	2.51	2.52	2.52	2.53
38	2.85	2.80	2.91	3.03	3.12	3.16	3.18	3.20	3.20
40	3.52	3.42	3.55	3.74	3.87	3.94	3.98	4.00	4.01
42	4.32	4.16	4.30	4.55	4.74	4.86	4.91	4.95	4.96
44	5.26	5.01	5.16	5.48	5.75	5.92	6.01	6.06	6.09
46	6.36	6.01	6.14	6.53	6.90	7.14	7.28	7.36	7.40
48	7.64	7.16	7.27	7.73	8.21	8.55	8.75	8.86	8.92
50	9.11	8.50	8.55	9.07	9.68	10.14	10.42	10.58	10.66
52	10.8	10.0	10.0	10.6	11.3	11.9	12.3	12.5	12.7
54	12.8	11.8	11.7	12.3	13.2	13.9	14.5	14.8	14.9
56	15.0	13.8	13.6	14.2	15.2	16.2	16.8	17.3	17.5
58	17.5	16.0	15.7	16.3	17.5	18.6	19.5	20.1	20.4
60	20.3	18.5	18.1	18.7	20.0	21.4	22.5	23.2	23.6
62	23.5	21.4	20.8	21.4	22.8	24.4	25.7	26.7	27.3
64	27.0	24.6	23.8	24.4	25.8	27.7	29.3	30.5	31.3
66	31.0	28.1	27.1	27.6	29.2	31.3	33.2	34.7	35.7
68	35.4	32.1	30.9	31.3	32.9	35.2	37.5	39.3	40.5
70	40.3	36.5	35.0	35.3	37.0	39.5	42.1	44.3	45.9
72	45.7	41.4	39.6	39.8	41.5	44.2	47.2	49.8	51.7
74	51.7	46.7	44.6	44.7	46.4	49.3	52.7	55.7	58.0
76	58.3	52.6	50.2	50.1	51.8	54.9	58.6	62.1	64.8
78	65.5	59.1	56.3	56.1	57.7	60.9	65.0	69.0	72.3
80	73.4	66.2	62.9	62.5	64.2	67.5	71.9	76.4	80.2
82	82.0	73.9	70.2	69.6	71.2	74.7	79.4	84.4	88.8
84	91.4	82.4	78.1	77.3	78.9	82.4	87.4	93.0	98.1
86	102.	92.	87.	86.	87.	91.	96.	102.	108.
88	113.	102.	96.	95.	96.	100.	105.	112.	119.
90	125.	112.	106.	105.	106.	110.	115.	123.	130.

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tridem,  
Pt=2.5**

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
10	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
12	0.011	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.020	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
16	0.033	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
18	0.053	0.048	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043	0.043
20	0.080	0.073	0.069	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
22	0.116	0.107	0.101	0.099	0.098	0.097	0.097	0.097	0.097
24	0.163	0.151	0.144	0.141	0.139	0.139	0.138	0.138	0.138
26	0.222	0.209	0.200	0.195	0.194	0.193	0.192	0.192	0.192
28	0.295	0.281	0.271	0.265	0.263	0.262	0.262	0.262	0.262
30	0.384	0.371	0.359	0.354	0.351	0.350	0.349	0.349	0.349
32	0.490	0.480	0.468	0.463	0.460	0.459	0.458	0.458	0.458
34	0.616	0.609	0.601	0.596	0.594	0.593	0.592	0.592	0.592
36	0.765	0.762	0.759	0.757	0.756	0.755	0.755	0.755	0.755
38	0.939	0.941	0.946	0.948	0.950	0.951	0.951	0.951	0.951
40	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
42	1.38	1.38	1.41	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46
44	1.65	1.65	1.70	1.74	1.77	1.78	1.78	1.78	1.79
46	1.97	1.96	2.03	2.09	2.13	2.15	2.16	2.16	2.16
48	2.34	2.31	2.40	2.49	2.55	2.58	2.59	2.60	2.60
50	2.76	2.71	2.81	2.94	3.02	3.07	3.09	3.10	3.11
52	3.24	3.15	3.27	3.44	3.56	3.62	3.66	3.68	3.68
54	3.79	3.66	3.79	4.00	4.16	4.26	4.30	4.33	4.34
56	4.41	4.23	4.37	4.63	4.84	4.97	5.03	5.07	5.09
58	5.12	4.87	5.00	5.32	5.59	5.76	5.85	5.90	5.93
60	5.91	5.59	5.71	6.08	6.42	6.64	6.77	6.84	6.87
62	6.80	6.39	6.50	6.91	7.33	7.62	7.79	7.88	7.93
64	7.79	7.29	7.37	7.82	8.33	8.70	8.92	9.04	9.11
66	8.90	8.28	8.33	8.83	9.42	9.88	10.17	10.33	10.42
68	10.1	9.4	9.4	9.9	10.6	11.2	11.5	11.7	11.9
70	11.5	10.6	10.6	11.1	11.9	12.6	13.0	13.3	13.5
72	13.0	12.0	11.8	12.4	13.3	14.1	14.7	15.0	15.2
74	14.6	13.5	13.2	13.8	14.8	15.8	16.5	16.9	17.1
76	16.5	15.1	14.8	15.4	16.5	17.6	18.4	18.9	19.2
78	18.5	16.9	16.5	17.1	18.2	19.5	20.5	21.1	21.5
80	20.6	18.8	18.3	18.9	20.2	21.6	22.7	23.5	24.0
82	23.0	21.0	20.3	20.9	22.2	23.8	25.2	26.1	26.7
84	25.6	23.3	22.5	23.1	24.5	26.2	27.8	28.9	29.6
86	28.4	25.8	24.9	25.4	26.9	28.8	30.5	31.9	32.8
88	31.5	28.6	27.5	27.9	29.4	31.5	33.5	35.1	36.1
90	34.8	31.5	30.7	30.7	32.2	34.4	36.7	38.5	39.8

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simple,  
Pt=3.0**

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.014	0.012	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	0.045	0.038	0.034	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.111	0.095	0.087	0.083	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080
12	0.228	0.202	0.186	0.179	0.176	0.174	0.174	0.174	0.173
14	0.408	0.378	0.355	0.344	0.340	0.337	0.337	0.337	0.337
16	0.660	0.640	0.619	0.608	0.603	0.600	0.599	0.599	0.599
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.46	1.47	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59
22	2.07	2.06	2.18	2.29	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41
24	2.90	2.81	3.00	3.23	3.38	3.47	3.51	2.53	3.54
26	4.00	3.77	4.01	4.40	4.70	4.87	4.96	5.01	5.04
28	5.43	4.99	5.23	5.80	6.31	6.65	6.83	6.93	6.98
30	7.27	6.53	6.72	7.46	8.25	8.83	9.17	9.36	9.46
32	9.59	8.47	8.53	9.42	10.54	11.44	12.03	12.37	12.56
34	12.5	10.9	10.7	11.7	13.2	14.5	15.5	16.0	16.4
36	16.0	13.8	13.4	14.4	16.2	18.1	19.5	20.4	21.0
38	20.4	17.4	16.7	17.7	19.8	22.2	24.2	25.6	26.4
40	25.6	21.8	20.6	21.5	23.8	26.8	29.5	31.5	32.9
42	31.8	26.9	25.3	26.0	28.5	32.0	35.5	38.4	40.3
44	39.2	33.1	30.8	31.3	33.9	37.9	42.3	46.1	48.8
46	47.8	40.3	37.2	37.5	40.1	44.5	49.8	54.7	58.5
48	57.9	48.6	44.8	44.7	47.3	52.1	48.2	64.3	69.4
50	69.6	58.4	53.6	53.1	55.6	60.6	67.6	75.0	81.4

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tándem,  
Pt=3.0**

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0007	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
6	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.008	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
10	0.018	0.015	0.013	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.036	0.030	0.027	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.066	0.056	0.050	0.048	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.111	0.095	0.087	0.083	0.081	0.081	0.081	0.081	0.080
18	0.174	0.153	0.140	0.135	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.260	0.234	0.217	0.209	0.205	0.204	0.203	0.203	0.203
22	0.368	0.341	0.321	0.311	0.307	0.305	0.304	0.303	0.303
24	0.502	0.479	0.458	0.447	0.443	0.440	0.440	0.439	0.439
26	0.664	0.651	0.634	0.625	0.621	0.619	0.618	0.618	0.618
28	0.859	0.857	0.853	0.851	0.850	0.850	0.850	0.849	0.849
30	1.09	1.10	1.12	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.38	1.38	1.44	1.47	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51
34	1.72	1.71	1.80	1.88	1.93	1.95	1.96	1.97	1.97
36	2.13	2.10	2.23	2.36	2.45	2.49	2.51	2.52	2.52
38	2.62	2.54	2.71	2.92	3.06	3.13	3.17	3.19	3.20
40	3.21	3.05	3.26	3.55	3.76	3.89	3.95	3.98	4.00
42	3.90	3.65	3.87	4.26	4.58	4.77	4.87	4.92	4.95
44	4.72	4.35	4.57	5.06	5.50	5.78	5.94	6.02	6.06
46	5.68	5.16	5.36	5.95	6.54	6.94	7.17	7.29	7.36
48	6.80	6.10	6.25	6.93	7.69	8.24	8.57	8.76	8.86
50	8.09	7.17	7.26	8.03	8.96	9.70	10.17	10.43	10.58
52	9.57	8.41	8.40	9.24	10.36	11.32	11.96	12.33	12.54
54	11.3	9.8	9.7	10.6	11.9	13.1	14.0	14.5	14.8
56	13.2	11.4	11.2	12.1	13.6	15.1	16.2	16.9	17.3
58	15.4	13.2	12.8	13.7	15.4	17.2	18.6	19.5	30.1
60	17.9	15.3	14.7	15.6	17.4	19.5	21.3	22.5	23.2
62	20.6	17.6	16.8	17.6	19.6	22.0	24.1	25.7	26.6
64	23.7	20.2	19.1	19.9	22.0	24.7	27.3	29.2	30.4
66	27.2	23.1	21.7	22.4	24.6	27.6	30.6	33.0	34.6
68	31.1	26.3	24.6	25.2	27.4	30.8	34.3	37.1	39.2
70	35.4	29.8	27.8	28.2	30.6	34.2	38.2	41.6	44.1
72	40.1	33.8	31.3	31.6	34.0	37.9	42.3	46.4	49.4
74	45.3	38.1	35.2	35.4	37.7	41.8	46.8	51.5	55.2
76	51.1	42.9	39.5	39.5	41.8	46.1	51.5	56.9	61.3
78	57.4	48.2	44.3	44.0	46.3	50.7	56.5	62.7	67.9
80	64.3	53.9	49.4	48.9	51.1	55.8	62.1	68.9	74.9
82	71.8	60.2	55.1	54.3	56.5	61.2	67.9	75.5	82.4
84	80.0	67.0	61.2	60.2	62.2	67.0	74.2	82.4	90.3
86	89.0	74.5	67.9	66.5	68.5	73.4	80.8	89.8	98.7
88	98.7	82.5	75.2	73.5	75.3	80.2	88.0	97.7	107.5
90	109.	91.	83.	81.	83.	88.	96.	106.	117.

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tridem,**

**Pt=3.0**

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
10	0.007	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
12	0.013	0.011	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.023	0.02	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016
16	0.039	0.033	0.030	0.028	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027
18	0.061	0.052	0.047	0.045	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043
20	0.091	0.078	0.071	0.068	0.067	0.066	0.066	0.066	0.066
22	0.132	0.114	0.104	0.100	0.098	0.097	0.097	0.097	0.097
24	0.183	0.161	0.148	0.143	0.140	0.139	0.139	0.138	0.138
26	0.246	0.221	0.205	0.198	0.195	0.193	0.193	0.192	0.192
28	0.322	0.296	0.277	0.268	0.265	0.263	0.262	0.262	0.262
30	0.411	0.387	0.367	0.357	0.353	0.351	0.350	0.349	0.349
32	0.515	0.495	0.476	0.466	0.462	0.460	0.459	0.458	0.458
34	0.634	0.622	0.607	0.599	0.595	0.594	0.593	0.592	0.592
36	0.772	0.768	0.762	0.759	0.756	0.756	0.755	0.755	0.755
38	0.930	0.934	0.942	0.947	0.949	0.950	0.951	0.951	0.951
40	1.11	1.12	1.15	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
42	1.32	1.33	1.38	1.42	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46
44	1.56	1.56	1.64	1.71	1.75	1.77	1.78	1.78	1.78
46	1.84	1.83	1.94	2.04	2.10	2.14	2.15	2.16	2.16
48	2.16	2.12	2.26	2.41	2.51	2.56	2.58	2.59	2.60
50	2.53	2.45	2.61	2.82	2.96	3.03	3.07	3.09	3.10
52	2.95	2.82	3.01	3.27	3.47	3.58	3.63	3.66	3.68
54	3.43	3.23	3.43	3.77	4.03	4.18	4.27	4.31	4.33
56	3.98	3.70	3.90	4.31	4.65	4.86	4.98	5.04	5.07
58	4.59	4.22	4.42	4.90	5.34	5.62	5.78	5.86	5.90
60	5.28	4.80	4.99	5.54	6.08	6.45	6.66	6.78	6.84
62	6.06	5.45	5.61	6.23	6.89	7.36	7.64	7.80	7.88
64	6.92	6.18	6.29	6.98	7.76	8.36	8.72	8.93	9.04
66	7.89	6.98	7.05	7.78	8.70	9.44	9.91	10.18	10.33
68	8.96	7.88	7.87	8.66	9.71	10.61	11.20	11.55	11.75
70	10.2	8.9	8.8	9.6	10.8	11.9	12.6	13.1	13.3
72	11.5	10.0	9.8	10.6	12.0	13.2	14.1	14.7	15.0
74	12.9	11.2	10.9	11.7	13.2	14.7	15.8	16.5	16.9
76	14.5	12.5	12.1	12.9	14.5	16.2	17.5	18.4	18.9
78	16.2	13.9	13.4	14.2	15.9	17.8	19.4	20.5	21.1
80	18.2	15.5	14.8	15.6	17.4	19.6	21.4	22.7	23.5
82	20.2	17.2	16.4	17.2	19.1	21.4	23.5	25.1	26.1
84	22.5	19.1	18.1	18.8	20.8	23.4	25.8	27.6	28.8
86	25.0	21.2	19.9	20.6	22.6	25.5	28.2	30.4	31.8
88	27.6	23.4	21.9	22.5	24.6	27.7	30.7	33.2	35.0
90	30.5	25.8	24.1	24.6	26.8	30.0	33.4	36.3	38.3

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO, 1993.