

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En la actualidad el periodo de vida útil de una carretera oscila entre 20 a 25 años. Sin embargo, muchas de ellas están fallando prematuramente presentando fisuras, agrietamientos, huecos, ahuellamiento y otros debido a diferentes factores como ser pobres métodos constructivos, materiales inadecuados además de deficiencias en el diseño. Situación que se ve reflejado en numerosas calles y carreteras del país, donde se encuentra una gran cantidad de fallas a temprana edad.

Los pavimentos se deterioran progresivamente con el tiempo, bajo la acción del tráfico y de los elementos ambientales. Cuando aparecen los primeros signos de deterioro, debe mantenerse el nivel de seguridad y confort mediante operaciones de conservación y renovación superficial.

Para garantizar que la vía ofrezca un nivel de servicialidad adecuado que genere bienestar, confort y seguridad tanto al comercio, al turismo y al transporte urbano, es necesaria una vía que se encuentre en buen estado y que se ajuste a las condiciones tanto de tránsito, nivel de importancia y tipo de terreno.

En nuestro medio existen diferentes tipos de pavimentos entre ellos se encuentra el pavimento flexible y pavimento rígido.

La implementación de un software Excel nos permitirá calcular el tráfico y la determinación de ejes equivalentes utilizando la metodología de AASHTO y ABC, para los espesores utilizaremos el software Ecuación AASHTO 93 nos permitirá realizar el cálculo del espesor de los pavimentos flexible y rígido, optimizará los tiempos de diseño y se podrá exportar los resultados.

Lo que se pretende realizar en este trabajo es analizar los pavimentos mediante el estudio de tráfico y el análisis del comportamiento al variar una carga como eje equivalente en los diferentes tipos de vehículos en un mismo pavimento ya sea rígido o flexible.

Este trabajo propone la investigación de un análisis del efecto en la variación de carga como ejes equivalentes en el diseño estructural de pavimentos flexible y rígido mediante el método AASHTO 93, lo que implicará que los resultados de los ejes equivalentes del pavimento puedan variar al aplicar a una carga variable, con la finalidad de establecer una

relación de carga vs ejes equivalentes y poder encontrar el efecto que producen dichas cargas en estos tipos de pavimento.

El aporte teórico del presente trabajo establece la determinación del efecto que produce la carga variable como ejes equivalentes de tal manera poder analizar el comportamiento que produce los diferentes ejes equivalentes en dicha estructura de los pavimentos flexible y rígido.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El propósito de esta investigación es analizar el efecto en la variación de carga como ejes equivalentes en el diseño estructural de pavimentos flexible y rígido mediante el método AASHTO 93, con el fin de establecer los efectos que produce la carga como ejes equivalentes en el cálculo estructural de los pavimentos.

El impacto social al cual se puede llegar con este estudio se puede analizar desde el punto de vista económico con lo cual se generarán estructuras mucho más económicas rápidas de construir y con los informes técnicos se podrá generar mayor confianza del usuario para el uso de la estructura. Desde hace mucho tiempo atrás la ciudad de Tarija aumentó el índice de incremento vehicular y está en constante ascenso progresivo, por lo que, en algunas vías de la ciudad de un tiempo a esta parte, el flujo vehicular se formó un problema, especialmente en horas y días pico, provocando congestionamiento, accidentes y choques. A medida que pasaron los años, este caos vehicular se fue incrementando por lo que se afecta directamente la estructura del pavimento, debido al uso desmedido del mismo.

Para poder realizar el estudio de tráfico se determinará mediciones de volúmenes de vehículos livianos, medianos y pesados que circulan por las vías en análisis, para así conocer la capacidad con la que cuenta cada tramo.

Dentro la perspectiva académica se puede decir que es un área en la cual muy pocos profesionales y estudiantes se adentran debido a la complejidad del tema en el aspecto que interviene temas sumamente fuertes en su contexto y conlleva matemáticas de muy alto nivel para su entendimiento.

El avance de la tecnología en cuanto a software informático aplicado al diseño de ejes equivalentes es evidente cada día y en todas partes del mundo por ello es necesario que en nuestro medio en el área vial sea utilizado. En la actualidad el tiempo es un factor muy

importante, los programas informáticos reducen considerablemente los tiempos de diseño haciendo posible la consideración de más alternativas al momento del análisis de los pavimentos.

1.3 SITUACIÓN PROBLÉMICA

Para el diseño de pavimentos se deben conocer las solicitaciones sobre la carretera a lo largo de su vida en términos de lo que se denominan ejes equivalentes o más comúnmente conocidos como a (Equivalent Standar Axle Load – Carga Estándar por Eje Equivalente), estos son determinados siguiendo las normas AASHTO.

La variación en la aplicación carga como eje equivalente influye en el cálculo de los espesores del pavimento, ya que a diferentes ejes equivalentes se logra un distinto valor de su estructura, siendo este proporcional al aumentar los ejes equivalentes aumentará el espesor del pavimento.

Si los cálculos realizados en gabinete no son los correctos, es decir pudo haberse cometido errores, entonces se producirá errores en el cómputo al momento de verificar el efecto que produce la carga como ejes equivalentes, ya que no se podrá evidenciar el mismo.

Es necesario analizar y realizar comparaciones, al aplicar mayor carga como ejes equivalentes al pavimento se podrá observar cómo afecta a sus espesores de dichos pavimentos, el efecto que produce se analizará en gabinete tomando en cuenta todos los aspectos y de la mejor manera, para poder obtener resultados óptimos y poder verificar el efecto que produce dichos ejes equivalentes en los pavimentos.

1.3.1 Formulación del problema

¿De qué manera afecta la variación de carga como ejes equivalentes en el diseño estructural en los pavimentos flexible y rígido?

El presente trabajo de aplicación será realizado en un tiempo calculado de 13 semanas, para la elaboración de este trabajo será necesario realizar un estudio a detalle de tráfico en las áreas donde se desarrollará el proyecto, luego al calcular los ejes equivalentes del mismo, hacer variar de acuerdo al tipo de vehículo para finalmente analizar cómo afecta al diseño estructural de pavimento flexible y pavimento rígido.

El lugar donde se realizará el estudio de tráfico será en las áreas seleccionadas las cuales se encuentran ubicadas en las Avenidas más importantes de la ciudad de Tarija, luego de

la obtención de estos datos analizar y llevar el trabajo en gabinete, realizando el cálculo de los datos obtenidos en campo y poder estudiar el efecto que produce.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo general

Analizar el efecto en la variación de carga como ejes equivalentes en el diseño estructural de pavimentos flexible y rígido mediante el método AASHTO 93, con el fin de establecer que efecto produce la diferencia de ejes equivalentes en el dimensionamiento de la estructura del pavimento.

1.4.2 Objetivos específicos

- Recopilar información y datos relevantes de las normativas y especificaciones técnicas de pavimento flexible y rígido en Bolivia.
- Analizar herramientas como Excel y el software Ecuación AASHTO 93, que faciliten el proceso de optimización del diseño de pavimentos.
- Calcular los factores de equivalencias teniendo en cuenta los tipos de ejes (Simple, tándem, trídem).
- Determinar los factores de carga, crecimiento y de dirección para cada uno de los tipos de vehículos en su respectiva configuración.
- Elaborar pruebas de variación de carga en cálculos de ejes equivalentes, que afectan al dimensionamiento para pavimento flexible y rígido.
- Determinar curvas de comportamiento de espesores totales vs ejes equivalentes.
- Establecer el análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones.

1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El estudio del efecto en la variación de carga como ejes equivalentes, permitirá conocer cómo afecta estas variaciones en el cálculo de la estructura de los pavimentos flexible y rígido, donde se verificará que a mayor cantidad de ejes equivalentes se obtiene un mayor espesor del pavimento.

1.6 IDENTIFICACIÓN Y CONCEPTUALIZACIÓN DE VARIABLES

1.6.1 Variable independiente:

Niveles de carga como ejes equivalentes

1.6.2 Variable dependiente:

Espesor de pavimento

1.7 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla N° 1.1 Variables independientes

Variable independiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Niveles de carga como ejes equivalentes	Se optará por variar la carga para observar el efecto que produce al calcular los ejes equivalentes	Aplicando carga variable	Kn	El factor de equivalencia de carga afecta directamente a los ejes equivalentes lo que permitirá observar el efecto que produce en la resistencia estructural.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 1.2 Variables dependientes

Variable Dependiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Espesor de pavimento	El diseño de pavimentos consiste en la determinación de los espesores de cada capa que constituye la sección estructural del pavimento, la cual permitirá soportar las cargas durante un periodo de tiempo determinado	Pavimento flexible y rígido	Pulgadas	Se diseña la estructura del pavimento mediante el método seleccionado, de manera tal que pueda resistir la carga ejercida en el mismo, para que pueda cumplir su vida útil de funcionamiento.

Fuente: Elaboración propia.

1.8 ALCANCE

Este proyecto está centrado en analizar el efecto que produce la carga como eje equivalente en el diseño estructural de pavimentos flexibles y rígidos, para lograr el estudio de aplicación de este efecto se realizará las variaciones en estos ejes equivalentes y se utilizará el software Ecuación de la AASHTO, que nos permitirá calcular los espesores del pavimento flexible y pavimento rígido.

El tránsito vehicular en la zona estudiada ha ido aumentando con el paso del tiempo por la necesidad de los usuarios para poder transportarse, es así que el tránsito vehicular puede causar problemas en la estructura del pavimento, ya que se encuentra sometida a mayor circulación que la planificada en su diseño.

El estudio del tránsito vehicular en la zona se apreciará por el comportamiento de los vehículos por medio de un aforo manual, en la cual se mostrará los volúmenes que se pueden presentar en las vías de la zona en las horas picos de tránsito vehicular, donde los usuarios se dirigen a sus distintas actividades.

Los datos proporcionados en el estudio de campo, son la información básica que nos mostrará la situación actual y real de la cantidad de vehículos que circulan por dichas áreas estudiadas.

La medición del aforo de volúmenes se realizará en puntos estratégicos de mayor relevancia ubicados en el centro de cada subtramo, los cuales nos servirán como información básica para el cálculo del tráfico promedio diario y los ejes equivalentes de dicho subtramo.

También se hará un análisis teniendo en cuenta el paso de vehículo por cada subtramo pero con la variación que será un mismo tipo de vehículo que pasara todo el día, de esta manera se podrá observar el efecto que producirá este cambio, análisis que nos servirá para ver el nuevo comportamiento del tráfico vehicular y asimismo se hará el análisis de cómo se modificaran los espesores de cada subtramo, es muy importante hacer un análisis a profundidad teniendo en cuenta tanto la situación actual como la situación futura ya que en el diseño de ejes equivalentes se proyectara hacia 20 años adelante.

Concluido este estudio de aplicación, se obtendrán resultados de espesores vs ejes equivalentes los cuales podremos observar el efecto que produce los carga como ejes equivalentes en el espesor de cada pavimento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES

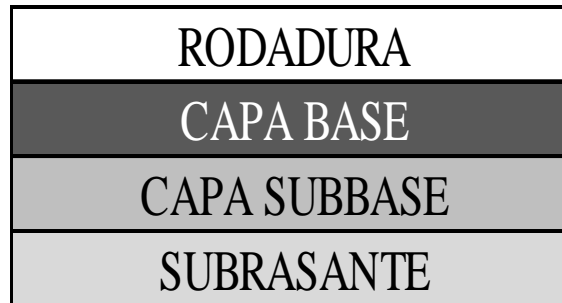
2.1.1 Estructura del pavimento

“El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir, distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito.

Por lo general la estructura de pavimento está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura.” como se observa en la Figura 2.1.

(Ingenieros Consultores S.A., 2013)

Figura 2.1 Estructura del pavimento



Fuente: Elaboración propia.

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL PAVIMENTO

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

Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.

Ser resistente ante los agentes de interperismo.

Ser durable.

Ser económico.

Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos. Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.

Debe presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje, ser durable y económico.

El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.

Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.”

(Ing. Alfonso Montejo Fonseca, 2002)

2.3 TIPOS DE PAVIMENTO

En nuestro medio existen dos pavimentos más importantes los cuales son:

2.3.1 Pavimento flexible

“El pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares.” ver Figura 2.2

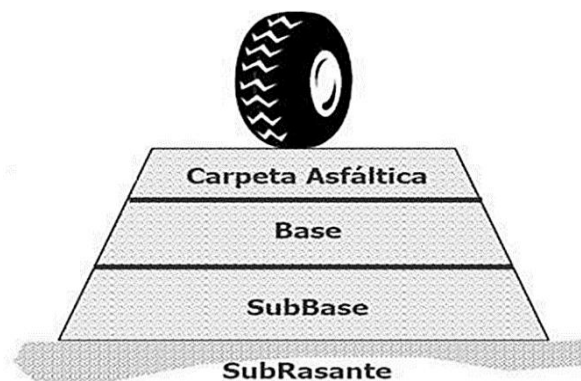
(Ingenieros Consultores S.A., 2013)

2.3.1.1 Capa de rodadura

“Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 5 centímetros). Ver Figura 2.2

Figura 2.2 Estructura del pavimento flexible



Fuente: Materiales para subbase, base y mezclas asfálticas (Ing. Augusto García).

“El ligante bituminoso lo conforman aquellos materiales obtenidos de la destilación del petróleo y que desempeñan un papel aglomerante. De entre ellos cabe destacar los betunes asfálticos, emulsiones bituminosas, betunes fluidificantes o las emulsiones.”

(Bañón Blázquez Luis & Bevía García José F., 2000)

La superficie de rodadura de pavimentos flexibles se divide en: Mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente.” (Ing. Coronado Iturbide, 2002)

2.3.1.2 Subrasante

“La plataforma de subrasante es una superficie constituida por uno o más planos sensiblemente horizontales, que delimita el movimiento de tierras de la infraestructura y sobre la cual se apoya la capa de rodadura o las diversas capas que constituyen un pavimento superior. Además, incluye el espacio destinado a los elementos auxiliares como, bermas, cantero central y cunetas de drenaje, etc.

La plataforma subrasante puede contribuir al control de las aguas infiltradas cuando sus materiales y su compactación permitan la generación de una superficie relativamente impermeable con pendientes hacia el exterior, lo cual ayuda a preservar el cuerpo del terraplén, o el suelo de fundación, de las aguas infiltradas a través del pavimento y de las capas de base y subbase.”

Figura 2.3 Subrasante de terreno



Fuente: Materiales para subbase, base y mezclas asfálticas (Ing. Augusto García).

“De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito (% CBR). Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad,

tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento - retracción).” en la Figura 2.3 se muestra una subrasante ya preparada y perfilada.

(Ing. Alfonso Montejó Fonseca, 2002)

2.3.1.3 Capa subbase

“Realmente se trata de una base de peor calidad, dado que no tiene que resistir cargas excesivas del tráfico, al llegar las mismas muy atenuadas por efecto de las capas superiores; se limita a proporcionar una buena capa de asiento a la base, de forma que se facilite su puesta en obra y compactación.

En cambio, sí que posee una importante función drenante, alejando el agua de las capas superiores del firme, para lo cual es imprescindible que los materiales empleados carezcan de finos de origen arcilloso, dado su carácter impermeable. Además, debe de hallarse en contacto con el sistema de drenaje de la vía, para evacuar el agua infiltrada en su interior; para facilitar la rápida evacuación del agua, se dota a la subbase de una pendiente del 4%. En cuanto a los materiales que conforman esta capa, deben poseer una buena granulometría, escasa plasticidad y suficiente dureza para asegurar su durabilidad.”

(Bañón Blázquez Luis & Bevía García José F., 2000)

2.3.1.4 Capa base

“Constituye el principal elemento portante de la estructura del pavimento, debiendo repartir y absorber en la práctica la totalidad de las cargas verticales que, aunque atenuadas penetren a su seno.

La capa base presenta, por tanto, una función eminentemente resistente, debiendo ser además compacta y duradera para que sus características mecánicas sean lo más homogéneas posibles durante todo el periodo de proyecto, en la Figura 2.4 se muestra el aspecto de la capa base puesta en obra.

Existen diferentes tipos de bases, que emplean uno u otro tipo de material en función de la calidad exigida por las sollicitaciones del tráfico:

Bases granulares: Formadas por materiales granulares sin ningún tipo de aglomerante. En función de su granulometría, pueden ser continuas (zahorras) o discontinuas (macadam).

Bases granulares estabilizadas: Al material pétreo se le añade una sustancia aglomerante

-normalmente cal o cemento- para mejorar sus cualidades resistentes y aumentar su rigidez. Las más empleadas son las bases de grava-cemento, aunque también existen otras, como el suelo-cemento, grava-emulsión, grava-escoria, grava-ceniza, etc.”

(Bañón Blázquez Luis & Beviá García José F., 2000)

Figura 2.4 Aspecto de capa base en obra



Fuente: Bañón Blázquez Luis y Beviá García José F. Bañón Blázquez Luis y Beviá García José F.

2.3.2 Pavimento rígido

“Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido, en la Figura 2.5 se muestra un pavimento sobre subrasante y en la Figura 2.6 se muestra un pavimento que contiene capa subbase.

Figura 2.5 Pavimento rígido sobre subrasante



Fuente: Elaboración propia.

Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el

comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.”

(Ing. Alfonso Montejo Fonseca, 2002)

Figura 2.6 Pavimento rígido sobre capa subbase



Fuente: Elaboración propia.

2.3.3 Pavimentos semirrígidos

“El pavimento semirrígido es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados.”

(Ingenieros Consultores S.A., 2013)

2.4 TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

“Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías:

2.4.1 Pavimento de concreto simple

2.4.1.1 Sin pasadores

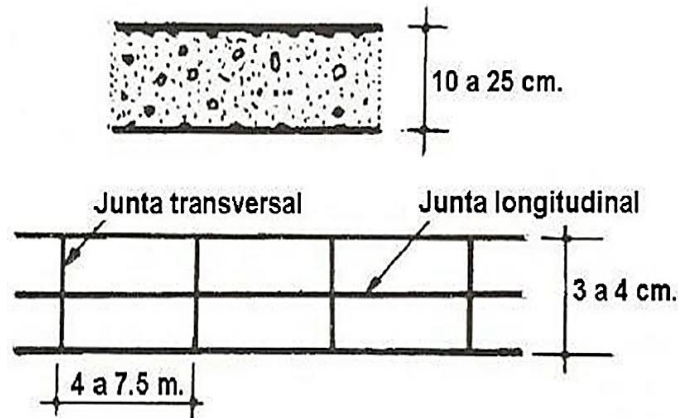
Son pavimentos que no presentan refuerzo de acero ni elementos para transferencia de cargas, ésta se logra a través de la trabazón (interlock) de los agregados entre las caras agrietadas debajo de las juntas aserradas o formadas. Para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que se use un espaciamiento corto entre juntas, en la Figura 2.7 se detalla un pavimento simple sin pasadores.

Están constituidos por losas de dimensiones relativamente pequeñas, en general menores de 6 m de largo y 3.5 m de ancho. Los espesores varían de acuerdo al uso previsto. Por

ejemplo, para calles de urbanizaciones residenciales, éstos varían entre 10 y 15 cm., en las denominadas colectoras entre 15 y 17 cm. En carreteras se obtienen espesores de 16 cm. En aeropistas y autopistas 20 cm o más.

Este tipo de pavimento es aplicable en caso de tráfico ligero y clima templado y generalmente se apoyan directamente sobre la subrasante.

Figura 2.7 Pavimento rígido simple sin pasadores

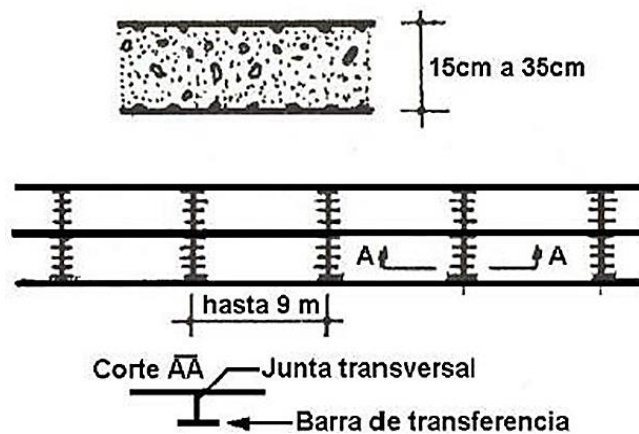


Fuente: Boletín técnico No 81, publicado por la ASOCEM.

2.4.1.2 Con pasadores

Los pasadores (dowels) son pequeñas barras de acero liso, que se colocan en la sección transversal del pavimento, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando así las condiciones de deformación en las juntas. De esta manera, se evitan los dislocamientos verticales diferenciales (escalonamientos) tal como se muestra en la Figura 2.8.

Figura 2.8 Pavimento rígido con pasadores



Fuente: Boletín técnico No 81, publicado por la ASOCEM.

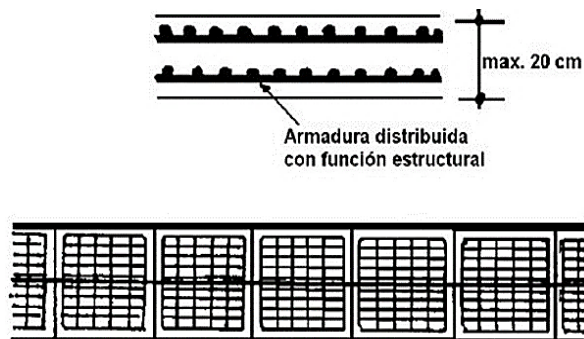
Según la Asociación de Cemento Portland (PCA, por sus siglas en inglés), este tipo de pavimento es recomendable para tráfico diario que exceda los 500 ESALs (ejes simples equivalentes), con espesores de 15 cm o más.

2.4.1.3 Pavimentos de concreto reforzado con juntas

Los pavimentos reforzados con juntas contienen además del refuerzo, pasadores para la transferencia de carga en las juntas de contracción. Este refuerzo puede ser en forma de mallas de barras de acero o acero electrosoldado.

El objetivo de la armadura es mantener las grietas que pueden llegar a formarse bien unidas, con el fin de permitir una buena transferencia de cargas y de esta manera conseguir que el pavimento se comporte como una unidad estructural. Ver Figura 2.9.

Figura 2.9 Pavimento de concreto reforzado

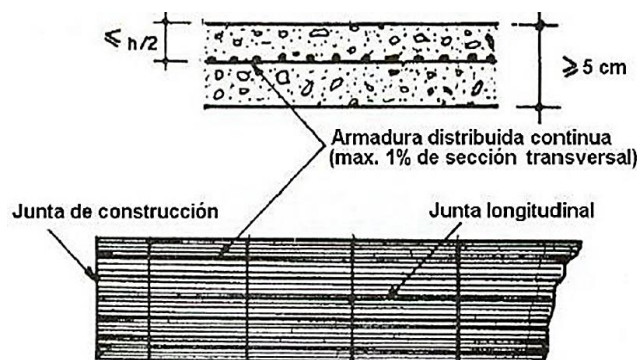


Fuente: Boletín técnico No 81, publicado por la ASOCEM.

2.4.1.4 Pavimentos de concreto con refuerzo continuo

A diferencia de los pavimentos de concreto reforzado con juntas, éstos se construyen sin juntas de contracción, debido a que el refuerzo asume todas las deformaciones, específicamente las de temperatura.

Figura 2.10 Pavimento de concreto reforzado



Fuente: Boletín técnico No 81, publicado por la ASOCEM.

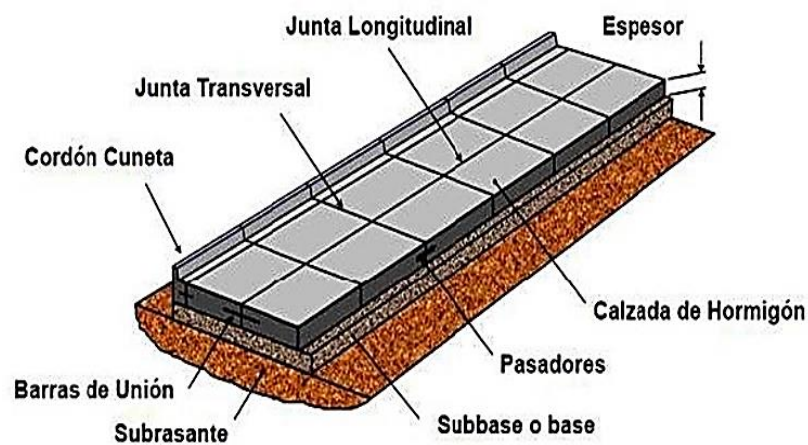
El refuerzo principal es el acero longitudinal, el cual se coloca a lo largo de toda la longitud del pavimento. El refuerzo transversal puede no ser requerido para este tipo de pavimentos.” Ver Figura 2.10 donde se muestra la forma de pavimento con refuerzo continuo.

(PAVIMENTO RÍGIDO, 2013)

2.5 COMPONENTES DE LA LOSA DE HORMIGÓN

Son todas las partes que forman parte de la estructura de la losa, en la Figura 2.11 se muestra un esquema de todas las partes que compone la losa de pavimento rígido.

Figura 2.11 Componentes del pavimento rígido



Fuente: Universidad Tecnológica Nacional Ing. Claudio Giordani.

2.6 JUNTAS

“La función de las juntas consiste en mantener las tensiones de la losa provocadas por la contracción y expansión del pavimento dentro de los valores admisibles del concreto; o disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas losas.

Son muy importantes para garantizar la duración de la estructura, siendo una de las pautas para calificar la bondad de un pavimento. Por otro lado, deben ser rellenadas con materiales apropiados, utilizando técnicas constructivas específicas. En consecuencia, la conservación y oportuna reparación de las fallas en las juntas son decisivas para la vida útil de un pavimento.

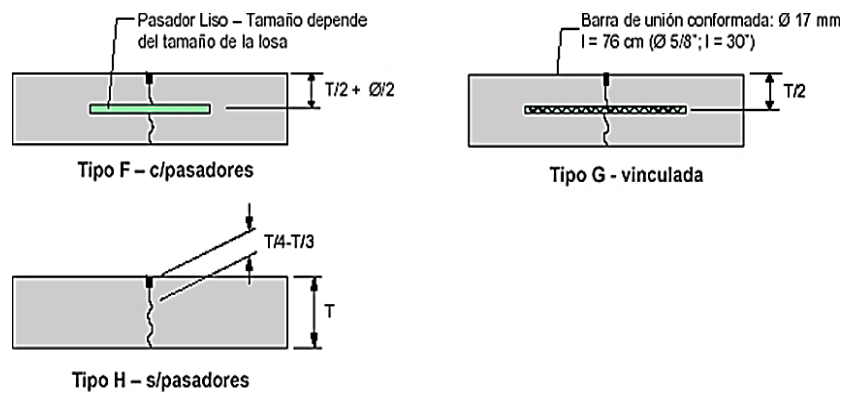
De acuerdo a su ubicación respecto de la dirección principal o eje del pavimento, se denominan como longitudinales y transversales. Según la función que cumplen se les denomina de contracción, articulación, construcción expansión y aislamiento. Según la forma, se les denomina, rectas, machimbradas y acanaladas.

2.6.1 Tipos de junta

2.6.1.1 Juntas de contracción

Su objetivo es inducir en forma ordenada la ubicación del agrietamiento del pavimento causada por la contracción (retracción) por secado y/o por temperatura del concreto. Se emplea para reducir la tensión causada por la curvatura y el alabeo de losas. Los pasadores se pueden usar en las juntas de contracción para la transferencia de cargas, bajo ciertas condiciones como se muestra en la Figura 2.12. Sin embargo, se espera que la transferencia de cargas se logre mediante la trabazón entre los agregados.

Figura 2.12 Tipos de junta de contracción

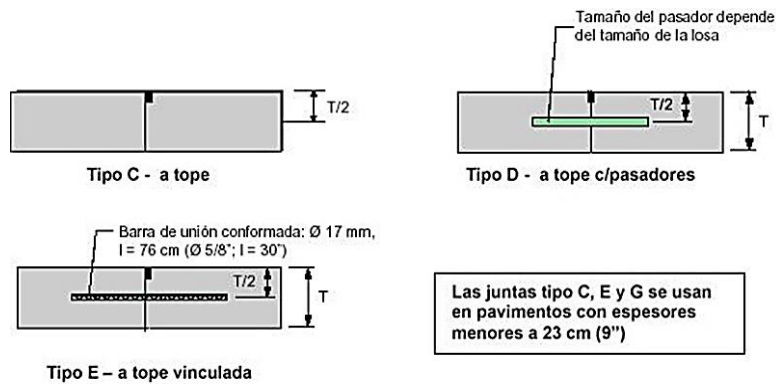


Fuente: Design and construction of joint for concrete Streets, publicado por la American Concrete Pavement Association (ACPA).

2.6.1.2 Juntas de construcción

Las juntas de construcción separan construcciones contiguas colocadas en diferentes momentos, tales como la colocación al final del día o entre fajas de pavimentación.

Figura 2.13 Tipos de junta de construcción



Fuente: Design and construction of joint for concrete Streets, publicado por (ACPA)

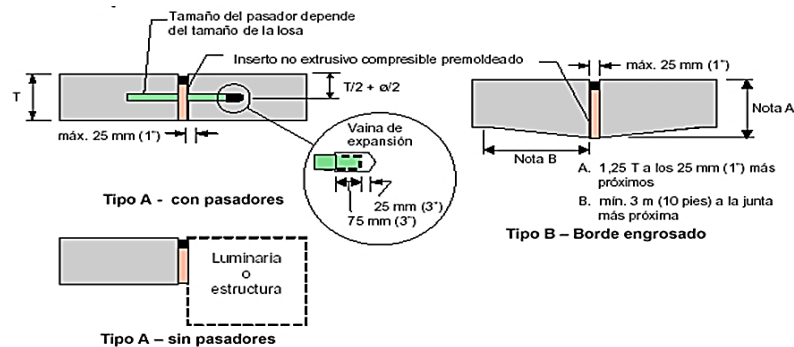
La transferencia de cargas se logra mediante el empleo de pasadores, pueden ser transversales o longitudinales. Ver Figura 2.13 donde se detallan tres modelos.

2.6.1.3 Juntas de expansión o aislación

Se usan para aislar pavimentos que se interceptan con la finalidad de disminuir los esfuerzos de compresión en éstos, cuando se expanden por el aumento de temperatura. También se utilizan para aislar estructuras existentes, ver Figura 2.14 donde se muestra dos modelos de juntas de expansión”

(Design and Construction of Joints for Concrete Str, 1992)

Figura 2.14 Tipos de junta de expansión



Fuente: Design and construction of joint for concrete Streets, publicado por (ACPA)

2.6.1.4 Espaciamiento entre juntas

El espaciamiento entre juntas de contracción de pavimentos de hormigón simple depende de factores principalmente locales, como calidad de materiales y condiciones climáticas.

Tabla N° 2.1 Dimensiones en pasadores en pavimentos urbanos

Espesor del Pavimento (cm.)	Diámetro de la pasajunta		Longitud (cm.)	Separación (cm.)
	mm.	pulgadas		
10 – 150	16	5/8	30	45
15 – 18	20	3/4	38	38
18 – 20	25	1	38	30
20 – 25	32	1 1/4	38	30

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

La AASHTO recomienda que el espaciamiento entre juntas o barras de unión en pies no debe ser mayor a dos veces el espesor de la losa en pulgadas, dicho de otra manera, no debe ser mayor a 24 veces el espesor de la losa, para pavimentos sobre subbase no estabilizada. Para subbase estabilizada no debe ser mayor a 21 veces el espesor de la losa, en el Tabla N° 2.1 se muestra la longitud de juntas transversales recomendadas.

2.7 DIÁMETROS COMERCIALES Y DILATACIÓN DEL ACERO

El diámetro de barras tiene influencia en las tensiones que se producen en el pavimento del hormigón. Los nomogramas de diseño de la AASHTO consideran barras No. 4 a No.

7. El diámetro de las barras en pulgadas es igual a su número dividido entre 8.

No. 4	diámetro	4/8"= 0,5 pulg.	= 12 mm.
No. 5	diámetro	5/8"= 0,625 pulg.	= 16 mm.
No. 6	diámetro	3/4"= 0,75 pulg.	= 20 mm
No. 7	diámetro	7/8"= 0,875 pulg.	= 22 mm.

Coefficiente de Dilatación de Acero, el método recomienda un valor de:

$$9 \cdot 10^{-6} \text{ mm./mm./}^{\circ}\text{C} \quad \text{ó} \quad 5 \cdot 10^{-6} \text{ pulg/pulg/}^{\circ}\text{F}$$

Diferencia de temperatura de diseño

Es la diferencia entre la temperatura media de curado del hormigón y la temperatura mínima. Para la temperatura media de curado se toma la temperatura media máxima del mes en que será fabricado el hormigón. La temperatura mínima es la temperatura media mensual mínima de la zona donde se encuentra la obra. $DTD = TH - TL$

DTD= Diferencia de temperatura de diseño en °C o °F.

TH= Temperatura máxima media en el mes de construcción °C o °F.

TL= Temperatura mínima media en el mes más frío del año en °C o °F.

2.8 SELLOS

La función principal de un sellador de juntas es minimizar la infiltración de agua a la estructura del pavimento y evitar la intrusión de materiales incompresibles dentro de las juntas que pueden causar la rotura de éstas (descascamientos).

En la selección del sello se debe considerar su vida útil esperada, el tipo de sello, tipo de junta, datos climáticos y el costo de control de tránsito en cada aplicación del sello, en todo el período económico de análisis. El tipo de junta es muy influyente en la selección del material de sello. Las juntas longitudinales entre pistas o en la unión berma-losa no

generan las mismas tensiones sobre el sello que ejercen las juntas transversales, debido a que sus movimientos son considerablemente menores. Se podría optimizar enormemente el costo del proyecto considerando esto en la selección del sello.

Todo material de sellos de juntas de pavimentos de concreto, deben cumplir con las siguientes características:

- Impermeabilidad
- Deformabilidad
- Resiliencia
- Adherencia
- Resistencia
- Estable
- Durable

2.9 DISEÑO DE PAVIMENTOS

Para el diseño de pavimentos se aplicará la metodología de AASHTO. “Esta Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, proporciona un grupo completo de procedimientos, los cuales puede ser usados para el diseño y rehabilitación de pavimentos:

Flexibles (superficie de concreto asfáltico) y superficies de agregados para caminos de bajo volumen de tránsito.

Rígidos (superficie de concreto de cemento Portland).

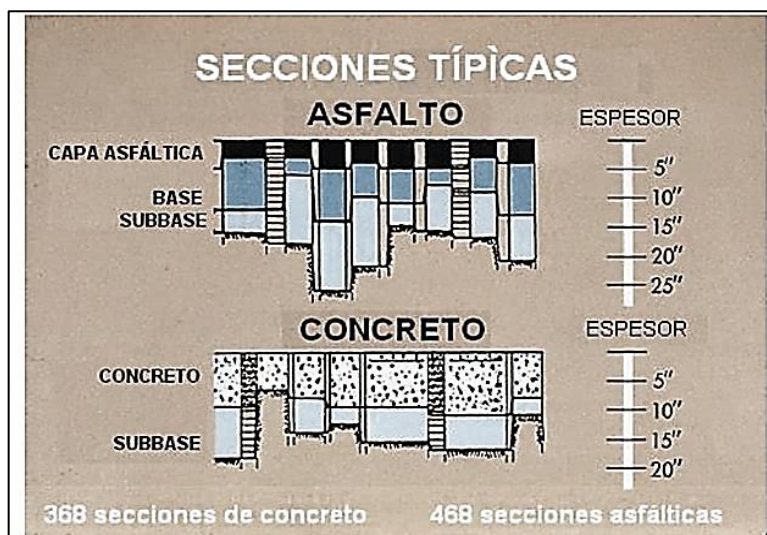
La Guía ha sido desarrollada para proporcionar recomendaciones concernientes a la determinación de la estructura de pavimentos. Esas recomendaciones incluyen la determinación del espesor total de la estructura del pavimento, así como el espesor de los componentes estructurales individuales, en la Figura 2.15 muestra como ellos tienen la variación de espesores de capas y pavimentos.

Los procedimientos para el diseño prevén la determinación de estructuras alternativas, utilizando una variedad de materiales y procedimientos de construcción.

Debe tomarse en cuenta que el grupo total de consideraciones requeridas para asegurar el comportamiento confiable de una estructura de pavimento, incluye muchos factores diferentes a la determinación de los espesores de los componentes estructurales.”

(American Association of State and Highway Transportation Officials, 1993)

Figura 2.15 Diseño de modelo de pavimento AASHTO



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

2.10 VARIABLES DEL DISEÑO

2.10.1 Periodo de análisis

Se refiere al período de tiempo para el cual va a ser conducido el análisis, es decir, el tiempo que puede ser cubierto por cualquier estrategia de diseño. El período de análisis es análogo al término "vida de diseño" usado por los diseñadores en el pasado. Debido a la consideración del período máximo de comportamiento, puede ser necesario considerar y planificar una construcción por etapas (es decir, una estructura de pavimento seguida por una o más operaciones de rehabilitación) para alcanzar el período de análisis deseado, en el Tabla N° 2.2 se muestra el periodo de análisis en función del volumen de tráfico y zona.

Tabla N° 2.2 Periodo de análisis

Tipos de camino	Periodo de análisis (años)
Urbana de alto volumen de tráfico	30 - 50
Rural de alto volumen de tráfico	20 - 50
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10-20

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

2.10.2 Tránsito

“Número de vehículos que circulan durante determinado periodo, dividido por el número de días del periodo.

Este factor depende de la cantidad de vehículos al igual que la frecuencia y composición de las cargas a las que va estar solicitado el pavimento. Podemos definir tránsito como una sucesión de cargas en el tiempo, de diferente intensidad y frecuencia. W18 en (18 kips u 80 KN).

2.10.2.1 Análisis de tránsito

El análisis de tránsito que circula por la intersección requiere el estudio de los siguientes factores:

- Tránsito en la vía principal
- Tránsito en la vía secundaria.

Los datos relativos a las intensidades de tránsito deberán ser tomadas durante periodos que varían según el tipo de toma de muestras en horas que sean representativas de la situación normal en ambos accesos para un día tipo.”

(Manual técnico para el diseño de carreteras, 2007)

2.10.2.2 Programación de los aforos

El número de horas de aforo varía conforme al método usado (manual de ABC, AASHTO) y el propósito. Los contadores mecánicos pueden estar contando las 24 horas del día (durante una semana las 24 horas del día establece la normativa ABC). Es conveniente que los aforos manuales en intersecciones, se lleven a cabo por un mínimo de 12 horas, incluyendo en este espacio de tiempo las horas de mayor demanda. Aforos por periodos de tiempo de 16 horas, proveen más información. Por lo general, para la mayoría de los propósitos de ingeniería de tránsito, los aforos deben ser efectuados durante días representativos de un día de la semana típico (martes, miércoles y jueves) a menos que el objetivo del estudio requiera días de fin de semana (en periodo de un mes manual de AASHTO).

Por lo general aforos realizados con incrementos de tiempo de 15 minutos son suficientes. Sin embargo, algunas veces es necesario efectuar aforos en intervalos menores para el diseño de carriles de giro y para cálculo de tiempos de semáforos.

(Manual de estudios de ingeniería de tránsito, 2008)

2.10.3 Volúmenes de tránsito

“Los volúmenes de tránsito representan el movimiento vehicular sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial.

Debe tomarse en cuenta el periodo de construcción, para generar los datos aforados hasta la fecha, además considerar un crecimiento durante su uso esto a criterio del diseñador, además el ingreso de arterias aledañas que conecte el camino.

Es necesario conocer el tránsito promedio diario (TPD) y el porcentaje de camiones presentes en el volumen de tránsito a estudiar, así como la clasificación de estos camiones. Diferentes tipos de camiones llevan distintas cargas y su número no debería ser combinado sin un buen ajuste. El uso del porcentaje de camiones para calcular el número de ESALs por camión debe ser hecho a partir de determinaciones precisas de los diferentes tipos de camiones en el flujo de tránsito.

La FHWA reconoce trece clases distintas de vehículos para el cálculo de los ESALs, estos son:

1. Motocicletas
2. Automóviles
3. Vehículos de dos ejes y cuatro ruedas
4. Ómnibus
5. Camiones simples de dos ejes y 6 ruedas
6. Camiones simples de tres ejes
7. Camiones simples de cuatro o más ejes
8. Camiones semirremolques de cuatro o menos ejes
9. Camiones semirremolques de cinco ejes
10. Camiones semirremolques de seis o más ejes
11. Camiones c/acoplado de cinco o menos ejes
12. Camiones c/acoplado de seis ejes
13. Camiones c/acoplado de siete o más ejes”

(American Association of State and Highway Transportation Officials, 1993)





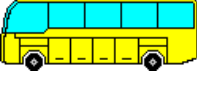

Disposición para el cálculo de los ESALs, en Bolivia según la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras) como se ve en el Tabla N° 2.3 y Figura 2.16.





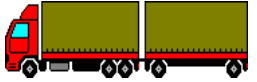

Tabla N° 2.3 Clasificación vehicular

N°	Tipo de vehículo
1	Automóviles, Vagonetas y Jeeps
2	Camionetas
3	Minibuses (hasta 13 pasajeros)
4	Microbuses (De 2 ejes)
5	Buses Medianos (De 2 ejes)
6	Buses Grandes (2 ó más ejes)
7	Camiones Medianos (2 ejes)
8	Camiones Grandes (2 ejes)
9	Camiones Grandes (3 ejes)
10	Camiones Semirremolque
11	Camiones remolque
12	Otros Vehículos

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras.

Figura 2.16 Configuración vehicular por tipo de ejes

Código	Tipo de vehículos	Figura
1	Automóviles y vagonetas	
2	Camionetas (hasta 2 Tn)	
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	
5	Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	
6	Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	

7	Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	
8	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	
9	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	
10	Camiones semirremolque	
11	Camiones remolque	
12	Otros Vehículos	

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras.

2.11 EJES EQUIVALENTES

Es el método más utilizado para estimar el tránsito con fines de diseño de pavimentos y consiste en convertir las repeticiones esperadas del tránsito real a un número de aplicaciones del eje de referencia normalizado de 80 KN o 18 kips que produciría el mismo deterioro en el pavimento (W18).

2.12 PESOS NORMADOS EN BOLIVIA

Los pesos máximos permitidos por cada eje o por cada grupo de ejes para la circulación de vehículos de transporte de carga y/o de pasajeros en la Red Vial Fundamental, son los que se observan en los Tabla N° 2.4

Tabla N° 2.4 Límites de cargas de vehículos pesados

Tipos de configuraciones de eje y grupos de ejes vehiculares	Peso máximo permitido por eje o grupo de ejes(toneladas)
Eje sencillo (direccional o fijo) de 2 llantos	7
Eje sencillo de 2 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	7,7
Eje tipo tándem de 4 llantas	10

Eje sencillo de 4 llantas	11
Eje tipo tándem de 4 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	12
Eje tipo tándem de 6 llantas	14
Eje tipo tándem de 6 llantas con un eje con cubiertas extra anchas y suspensión	16
Eje tipo trídem de 6 llantas	17
Eje tipo tándem de 8 llantas	18
Eje tipo trídem de 6 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	18
Eje tipo trídem de 10 llantas	21
Eje tipo trídem de 10 llantas con un eje con cubiertas extra anchas y suspensión	22
Eje tipo trídem de 12 llantas	25

Fuente: Límites de Cargas, ley de cargas (LEY N° 441).

Tabla N° 2.5 Límites de cargas vehículos livianos

Rango de ancho de sección de llanta		Peso bruto total máximo permitido	
De:	Hasta:	Vehículo con eje delantero sencillo de 2 llantas y un eje trasero sencillo de 2 llantas	Vehículo con eje delantero sencillo de 2 llantas y un eje trasero sencillo de 4 llantas
175 mm. (6,8")	190 mm. (7,5")	5,50 toneladas	7,00 toneladas
190 mm. (7,5")	270 mm. (10,6")	7,00 toneladas	10,00 toneladas

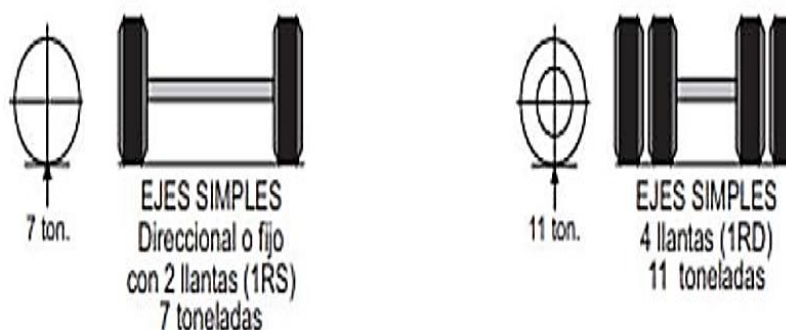
Fuente: Límites de Cargas, ley de cargas (LEY N° 441).

2.13 TIPOS DE EJES

2.13.1 Eje simple

“Uno de los ejes de un vehículo, que forman un solo apoyo del chasis, pudiendo ser delantero o trasero como se muestra en la Figura 2.17 ejes simple de 2 y 4 ruedas.

Figura 2.17 Tipos de eje simple

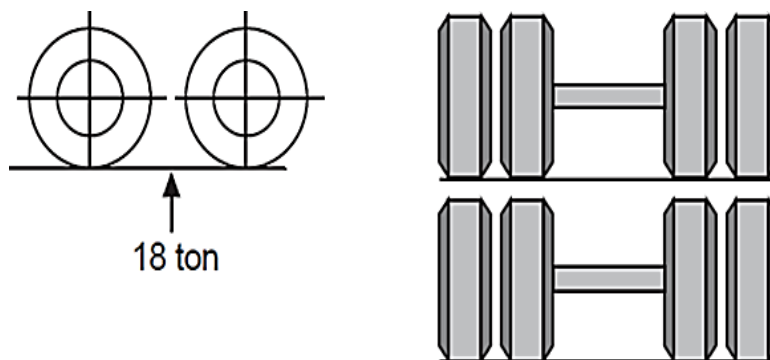


Fuente: Fuente: Límites de Cargas, ley de cargas (LEY N° 441).

2.13.2 Eje tándem

Es el grupo de ejes formado por el sistema de dos ejes de iguales características, cuyos centros geométricos están a una distancia comprendida entre (1,20 m.) y menor o igual (2,40 m.) ver Figura 2.18.

Figura 2.18 Ejes tándem



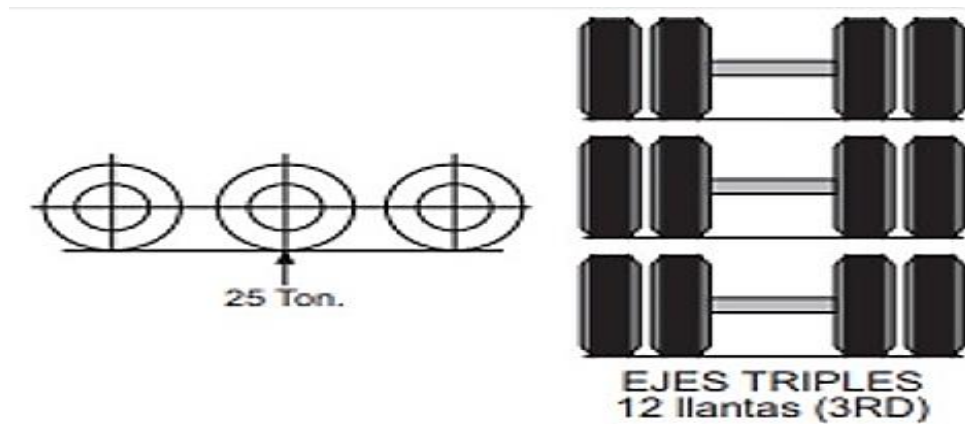
Fuente: Fuente: Límites de Cargas, ley de cargas (LEY N° 441).

2.13.3 Eje trídem

Es el grupo de ejes formado por el sistema de tres ejes de iguales características, cuyos centros geométricos están a una distancia mínima de un metro veinte centímetros (1,20 m.) o máxima de dos metros cuarenta centímetros (2,40 m.), entre ejes consecutivos.” Ver Figura 2.19.

(La asamblea legislativa plurinacional, 2013)

Figura 2.19 Ejes trídem



Fuente: Fuente: Límites de Cargas, ley de cargas (LEY N° 441).

2.14 FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA

Es el factor numérico que relaciona el número de aplicaciones de las cargas por eje de referencia (LEF) que produce en el pavimento un determinado deterioro y el número requerido de aplicaciones de otra carga por eje para producir el mismo deterioro.

$$LEF = \frac{\text{Nro de ESALs de 80 kn que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{Nro de ejes de xKN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}} \quad (2.1)$$

El factor equivalente de carga depende del sistema de eje vehicular e índice de servicio final de la estructura.”

(American Association of State and Highway Transportation Officials, 1993)

2.14.1 Factor camión

El LEF da una manera de expresar los niveles equivalentes de daño entre ejes, pero también es conveniente el daño en términos del deterioro producido por un vehículo en particular, es decir los daños producidos por cada eje de un vehículo son sumados para determinar el daño producido por el vehículo total. Así nace el concepto de Factor de camión (FC). Se define como el número de ESALs por vehículo. Factor de camión TF (truck factor)

$$TF = \frac{\text{Nro de ESALs}}{\text{Nro de camiones}} \quad (2.2)$$

2.15 DETERMINACIÓN DE EJES EQUIVALENTES

Representa el cálculo de los ejes equivalentes las siguientes ecuaciones, la fórmula reducida ecuación 2.3 y estimación del crecimiento de tráfico ecuación 2.4 o usar Tabla N° 2.9 crecimiento de tránsito, la ecuación 2.5 representa el crecimiento de tráfico en función de índice de crecimiento y periodo de vida útil, la ecuación 2.6 funciona con un factor equivalente de carga y la ecuación 2.7 considera vehículos livianos y pesados.

$$W18 = 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * \%CP * TPDA * GF * DD * LD * TF \quad (2.2)$$

$$GF = ((1 + gtv) * ((1 + gtf)) - 1 \quad (2.2)$$

$$W18 = 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * TPD * (1 + i)^n \quad (2.5)$$

$$W18 = 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \%Tv * TPDA * \frac{(1 + i)^n - 1}{r} * Fce \quad (2.6)$$

$$W18 = 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * TPD * (1 + i)^n * (\%VL * FcVL + \%VP * FcVP) \quad (2.7)$$

Donde cada una de las variables expresa lo siguiente:

W18= Número de ejes equivalentes de 18000 lb.

TPDA= Tránsito promedio diario anual.

n= Periodo de vida del diseño.

% Tv= Porcentaje de tipo de vehículo.

% VL= Porcentaje de vehículo liviano.

% VP= Porcentaje de vehículo pesado.

FcVP= Factor de carga vehículo pesado.

FcVL= Factor de carga vehículo liviano.

Fce= Factor de carga equivalente.

r, i= Índice de crecimiento de tránsito anual.

%CP= Porcentaje de camiones pesados (clase 5 o más FHWA).

GF= Factor de crecimiento que tiene en cuenta el crecimiento en volumen de camiones y el factor de camiones. Ver Tabla N° 2.9.

DD= Factor de distribución direccional para camiones (en tanto por uno).

LD= Factor distribución por carril para camiones (en tanto por uno).

TF= Factor de camiones (ESALs/camiones).

gtv= Crecimiento en el volumen de tránsito.

gtf= Crecimiento en el factor de camión.

De las ecuaciones 2.6 – 2.7 son usadas académicamente.

2.15.1 Procesamiento riguroso de ejes equivalentes

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 periodo de diseño considerado, cada tipo de vehículo puede tener una tasa de crecimiento distinta, ya que no todos los tipos de vehículos tienen que crecer a la misma tasa, según el Tabla N° 2.15.

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

Tabla N° 2.6 Procedimiento riguroso de ejes equivalentes

Tipo de Vehículo	Volumen diario "A"	Factores de crecimiento "B"	Tránsito de diseño "C"	Factor de equivalencia de carga "D"	ESAL diseño "E"
Automóviles y vagonetas					
Camionetas					
Minibuses					
Microbuses					
Buses medianos					
Buses grandes					
Camiones medianos					
Camiones grandes					
Camiones grandes					
Camiones semirremolque					
Camiones remolque					
Otros vehículos					
ESALs de diseño					

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

En la columna "D" se coloca el factor de ESALs, que depende de cada peso y configuración o tipo de camión (ejes simples, tándem o trídem) conforme al Tabla N° 2.11 que facilita la determinación de ejes equivalentes para todo el tráfico, en el ingreso de tipos de eje usar la simbología del Tabla N° 2.14.

Los valores asumidos de índice de serviciabilidad final se los toma y el número estructural (SN para pavimentos flexibles) o espesor de losa para pavimentos rígidos, conforme al Tabla N° 2.9, 2.10 y demás tablas, que hacen referencia al tipo de eje, tipo de pavimento en función del espesor asumido y de acuerdo a una serviciabilidad adoptada.

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

Finalmente se debe multiplicar los factores LD ver Tabla N° 2.16 y DD por la sumatoria obtenida en la columna E.

Tabla N° 2.7 Planilla tipo de aforo vehicular de 12 tipos

Dia	Vehículo												Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1														
2														
3														
4	→													
5														
6														
7				↓										
Total general														

Fuente: Manual de carreteras Administradora boliviana de carreteras.

Tabla N° 2.8 Planilla resumen de aforo vehicular de 12 tipos

Dia	Vehículo												Total		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1														→	suma
														TPD	

Fuente: Manual de carreteras Administradora boliviana de carreteras.

Tabla N° 2.9 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples

Pf= 2.0

Carga por eje			SN pulg (mm.)					
Tn	Kips	Kn	1 (25,4)	2 (50,8)	3 (76,2)	4 (101,6)	5 (127)	6 (152,4)
0,9072	2,00	8,90	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
1,814	4,000	17,800	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002
2,722	6,000	26,700	0,009	0,012	0,011	0,100	0,009	0,009
3,629	8,000	35,600	0,030	0,035	0,036	0,033	0,031	0,029
4,536	10,000	44,500	0,075	0,085	0,090	0,085	0,790	0,076
5,443	12,000	53,400	0,165	0,177	0,189	0,183	0,174	0,168
6,351	14,000	62,300	0,325	0,338	0,354	0,350	0,338	0,331
7,258	16,000	71,200	0,589	0,598	0,613	0,612	0,603	0,596
8,15	18,00	80,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
9,07	20,00	89,00	1,61	1,59	1,56	1,55	1,57	1,59
9,98	22,00	97,90	2,49	2,44	2,35	2,31	2,35	2,41
10,89	24,00	106,80	3,71	3,62	3,43	3,33	3,40	3,51
11,79	26,00	115,70	5,36	5,21	4,88	4,68	4,77	4,96
12,70	28,00	124,60	7,54	7,31	6,78	6,42	6,52	6,83
13,61	30,00	133,50	10,40	10,00	9,20	8,60	8,70	9,20
14,52	32,00	142,40	14,00	13,50	12,40	11,50	11,50	12,10
15,42	34,00	151,30	18,50	17,90	16,30	15,00	14,90	15,60
16,31	36,00	160,00	24,20	23,30	21,20	19,30	19,00	19,90
17,24	38,00	169,10	31,10	29,90	27,10	24,60	24,00	25,10
18,14	40,00	178,00	39,60	38,00	34,30	30,90	30,00	31,20
19,05	42,00	186,90	49,70	47,70	43,00	38,60	37,20	38,50
19,96	44,00	195,80	61,80	59,30	53,40	47,60	45,70	47,10
20,87	46,00	204,70	76,10	73,00	65,60	58,30	55,70	57,00

21,77	48,00	213,60	92,90	89,10	80,00	70,90	67,30	68,60
22,68	50,00	222,50	113,00	108,00	97,00	86,00	81,00	82,00

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Tabla N° 2.10 Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples

Pf= 2.0

Carga por eje			D pulg (mm.)								
Tn	kips	KN	6 (152,4)	7 (177,8)	8 (203,2)	9 (228,6)	10 (254)	11 (279,4)	12 (304,8)	13 (330,2)	14 (355,6)
0,9072	2,0000	8,9000	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
1,814	4,000	17,800	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
2,722	6,000	26,700	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
3,629	8,000	35,600	0,035	0,033	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
4,536	10,000	44,500	0,087	0,084	0,082	0,081	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080
5,443	12,000	53,400	0,186	0,180	0,176	0,175	0,174	0,174	0,173	0,173	0,173
6,351	14,000	62,300	0,353	0,346	0,341	0,338	0,337	0,336	0,336	0,336	0,336
7,258	16,000	71,200	0,614	0,609	0,604	0,601	0,599	0,599	0,598	0,598	0,598
8,15	18,00	80,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
9,07	20,00	89,00	1,55	1,56	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59	1,59
9,98	22,00	97,90	2,32	2,32	2,35	2,38	2,40	2,41	2,41	2,41	2,42
10,89	24,00	106,80	3,37	3,34	3,40	3,47	3,51	3,53	3,54	3,55	3,55
11,79	26,00	115,70	4,76	4,69	4,77	4,88	4,97	5,02	5,04	5,06	5,06
12,70	28,00	124,60	6,58	6,44	6,52	6,70	6,85	6,94	7,00	7,02	7,04
13,61	30,00	133,50	8,92	8,68	8,74	8,98	9,23	9,39	9,48	9,54	9,56
14,52	32,00	142,40	11,90	11,50	11,50	11,80	12,20	12,40	12,60	12,70	12,70
15,42	34,00	151,30	15,50	15,00	14,90	15,30	15,80	16,20	16,40	16,60	16,70
16,31	36,00	160,00	20,10	19,30	19,20	19,50	20,10	20,70	21,10	21,40	21,50
17,24	38,00	169,10	25,60	24,50	24,30	24,60	25,40	26,10	26,70	27,10	27,40
18,14	40,00	178,00	32,20	30,80	30,40	30,70	31,60	32,60	33,40	34,00	34,40
19,05	42,00	186,90	40,10	38,40	37,70	38,00	38,90	40,10	41,30	42,10	42,70
19,96	44,00	195,80	49,40	47,30	46,40	46,60	47,60	49,00	50,40	51,60	52,40
20,87	46,00	204,70	60,40	57,70	56,60	56,70	57,70	59,30	61,10	62,60	63,70
21,77	48,00	213,60	73,20	69,90	68,40	68,40	69,40	71,20	73,30	75,30	76,80
22,68	50,00	222,50	88,00	84,10	82,20	82,00	83,00	84,90	87,40	89,80	91,70

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Tabla N° 2.11 Factores equivalentes de carga para todo el tráfico

Configuración	Livianos		Buses				Camiones					
	automóvil vagoneta y jeep	camioneta	minibus	microbus	bus mediano	bus grande	camión mediano	camión grande dos ejes	camión grande tres ejes	camión semi remolque	camión con remolque	otros
Tipos de eje	Eje delantero											
	1er eje trasero											
	2do eje trasero											
	3er eje trasero											
	4to eje trasero											
	5to eje trasero											
Pesos por eje (Tn)	Eje delantero											
	1er eje trasero											
	2do eje trasero											
	3er eje trasero											
	4to eje trasero											
	5to eje trasero											
Factor camión	Eje delantero											
	1er eje trasero											
	2do eje trasero											
	3er eje trasero											
	4to eje trasero											
	5to eje trasero											
Total de ejes equivalentes												

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Tabla N° 2.12 Factores equivalentes de carga para diferentes configuraciones de ejes y cargas

Carga total por eje o conjunto de ejes		Factores de equivalencia de carga		
Kn	lb	Eje sencillo	Ejes dobles	Ejes triples
4,5	1,000	0,00002		
8,9	2,000	0,00018		
17,8	4,000	0,00209	0,0003	
26,7	6,000	0,01043	0,001	0,0003
35,6	8,000	0,0343	0,003	0,001
44,5	10,000	0,0877	0,007	0,002
53,4	12,000	0,189	0,014	0,003
62,3	14,000	0,360	0,027	0,006
71,2	16,000	0,623	0,047	0,011
80,1	18,000	1,000	0,077	0,017
89,0	20,000	1,510	0,121	0,027
97,9	22,000	2,180	0,180	0,040
106,8	24,000	3,030	0,260	0,057
115,7	26,000	4,090	0,364	0,080
124,6	28,000	5,390	0,495	0,109
133,5	30,000	6,970	0,658	0,145
142,4	32,000	8,880	0,857	0,191
151,3	34,000	11,180	1,095	0,246
160,2	36,000	13,930	1,380	0,313
169,1	38,000	17,200	1,700	0,393
178,0	40,000	21,080	2,080	0,487
186,9	42,000	25,640	2,510	0,597
195,8	44,000	31,000	3,000	0,723
204,7	46,000	37,240	3,550	0,868
213,6	48,000	44,500	4,170	1,033
222,5	50,000	52,890	4,860	1,220
231,4	52,000		5,630	1,430
240,3	54,000		6,470	1,660
249,2	56,000		7,410	1,910
258,1	58,000		8,450	2,200
267,0	60,000		9,590	2,510
275,9	62,000		10,850	2,850
284,8	64,000		12,220	3,220
293,7	66,000		13,730	3,620
302,6	68,000		15,380	4,050
311,5	70,000		17,190	4,520
320,4	72,000		19,160	5,030
329,3	74,000		21,320	5,570
338,2	76,000		23,660	6,150
347,1	78,000		26,220	6,780
356,0	80,000		29,000	7,450
364,9	82,000		32,000	8,200
373,8	84,000		35,300	8,900
382,7	86,000		38,800	9,800
391,6	88,000		42,600	10,600
400,5	90,000		46,800	11,600

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Tabla N° 2.13 Factores equivalentes de carga para el tráfico de factor camión

Tipo de Vehículo	Volumen diario "A"	Factores de camion "B"	Tránsito de diseño "C"
Automóviles y vagonetas			
Camionetas			
Minibuses			
Microbuses			
Buses medianos			
Buses grandes			
Camiones medianos			
Camiones grandes			
Camiones grandes			
Camiones semirremolque			
Camiones remolque			
Otros vehículos			
TPDA	Suma ↓		Suma ↓
Número de camiones	Suma ↓		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 2.14 Denominación de ejes para el cálculo de factor equivalente

Denominación de ejes	Nomenclatura
Eje simple de 2 ruedas	S
Eje simple de 4 ruedas	SD
Eje tándem de 6 ruedas	TS
Eje tándem de 8 ruedas	TD
Eje trídem de 6 ruedas	TRS
Eje trídem de 12 ruedas	TRD

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 2.15 Denominación de ejes para el cálculo de factor equivalente

Periodo de análisis (años)	Factor de crecimiento *	Tasa de crecimiento anual (%)						
		2	4	5	6	7	8	10
1,00	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,00	2	2,02	2,04	2,05	2,06	2,07	2,08	2,10
3,00	3	3,06	3,12	3,15	3,18	3,21	3,25	3,31
4,00	4	4,12	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,64
5,00	5	5,20	5,42	5,53	5,64	5,75	5,87	6,11
6,00	6	6,31	6,63	6,80	6,98	7,15	7,34	7,72
7,00	7	7,43	7,90	8,14	8,39	8,65	8,92	9,49
8,00	8	8,58	9,21	9,55	9,90	10,26	10,64	11,44
9,00	9	9,75	10,58	11,03	11,49	11,98	12,49	13,58
10,00	10	10,95	12,01	12,58	13,18	13,82	14,49	15,94
11,00	11	12,17	13,49	14,21	14,97	15,78	16,65	18,53
12,00	12	13,41	15,03	15,92	16,87	17,89	18,98	21,38
13,00	13	14,68	16,63	17,71	18,88	20,14	21,50	24,52
14,00	14	15,97	18,29	19,16	21,01	22,55	24,21	27,97
15,00	15	17,29	20,02	21,58	23,28	25,13	27,15	31,77
16,00	16	18,64	21,82	23,66	25,67	27,89	30,32	35,95
17,00	17	20,01	23,70	25,84	28,21	30,84	33,75	40,55
18,00	18	21,41	25,65	28,13	30,91	34,00	37,45	45,60
19,00	19	22,84	27,67	30,54	33,76	37,38	41,45	51,16
20,00	20	24,30	29,78	33,06	36,79	41,00	45,76	57,28
25,00	25	32,03	41,65	47,73	54,86	63,25	73,11	98,35
30,00	30	40,57	56,08	66,44	79,06	91,46	113,28	164,49
35,00	35	49,99	73,65	90,32	111,43	138,24	172,32	271,02

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

*factor= $((1+g)n-1)g$ donde g = tasa/100 y no debe ser nula, si es nula considerar periodo de análisis.

2.16 FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR DIRECCIÓN (DD)

En general es 0,5 es decir que, del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debe considerarse en un censo de tránsito.

Aunque el factor DD generalmente es de 0,5 (50%) para la mayor parte de vías vehiculares, hay casos en los que puede moverse más peso en una dirección que en otra. Así, el lado con los vehículos más pesados, deberá ser diseñado para un gran número de unidades ESAL. La experiencia ha demostrado que DD puede variar de (0,3 a 0,7) dependiendo de cuál dirección está "cargada" y cual está "descargada" puede utilizarse 0,6.

2.17 FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL (LD)

En el de diseño es aquel que recibe el mayor número de ESALs. Para un camino de dos carriles, cualquiera puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza en ese carril. En este caso LD= 1. Para caminos multicarril, el carril de diseño es el más externo, dado que los camiones y por lo tanto la mayor parte de los ESALs, usan ese carril. En este caso LD puede variar de acuerdo al Tabla N° 2.16.

Tabla N° 2.16 Factor de distribución direccional (LD)

Número de carriles en cada dirección	LD
1	1
2	0,80 - 1,00
3	0,60 - 0,80
4	0,50 - 0,75

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

2.18 ÍNDICE DE CRECIMIENTO ANUAL

Es el crecimiento anual de vehículos contando como parámetro el año anterior. El parque automotor de Bolivia alcanzó el año 2020, 2.109.117 vehículos.

Con base en el Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT), el Instituto Nacional de Estadística (INE) reporta que a 2020 el parque automotor en Bolivia alcanzó a 2.109.117 vehículos, cantidad superior en 4,8% a la registrada en 2019, cuando

llegó a 2.013.400 unidades tal como se observa en el Tabla N° 2.17 y la clasificación por tipo de vehículo de la gestión 2019 – 2020 que se muestra en el Tabla N° 2.18.

Tabla N° 2.17 Parque automotor, según departamento, 2019 – 2020

Departamento	2019		2020		Variación porcentual
	Número de vehículos	Participación porcentual	Número de vehículos	Participación porcentual	
Total	2.013.400	100	2.109.117	100	4,8
Chuquisaca	78.195	3,9	80.971	3,8	3,6
La Paz	471.873	23,4	493.878	23,4	4,7
Cochabamba	432.431	21,5	453.500	21,5	4,9
Oruro	103.299	5,1	106.644	5,1	3,2
Potosí	71.132	3,5	73.434	3,5	3,2
Tarija	114.423	5,7	118.439	5,6	3,5
Santa Cruz	686.970	34,1	725.549	34,4	5,6
Beni	49.419	2,5	50.582	2,4	2,4
Pando *	5.658	0,3	6.120	0,3	8,2

Fuente: Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT) Instituto Nacional de Estadística (INE).

Tabla N° 2.18 Parque automotor, según clase de vehículo, 2019 – 2020

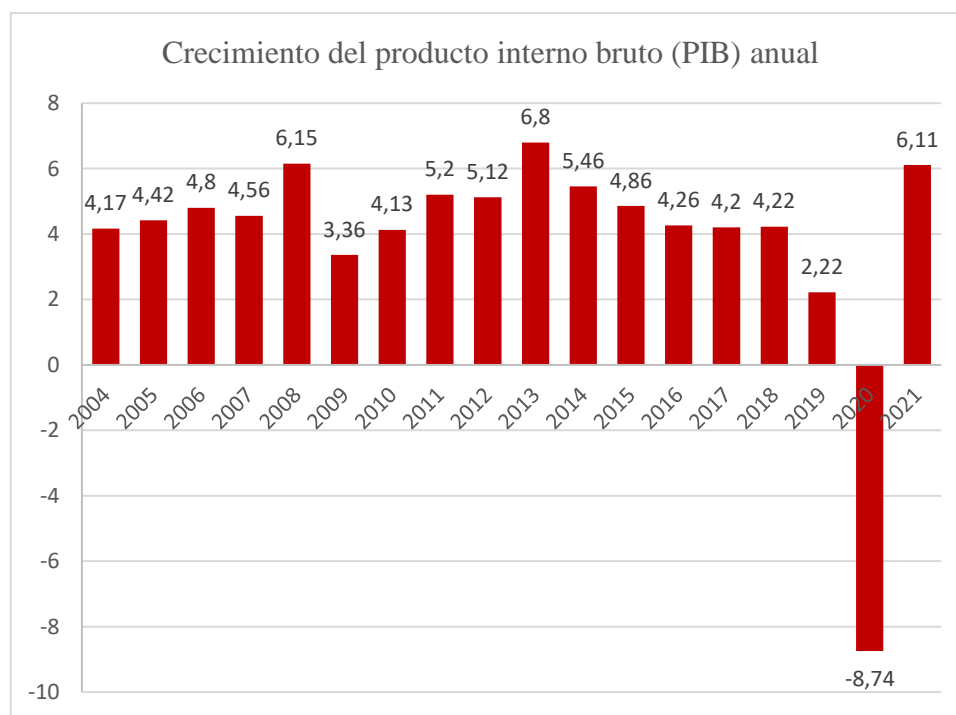
Clases de vehículo	2019		2020		Valoración porcentual
	Número de Vehículos	Participación porcentual	Número de Vehículos	Participación porcentual	
Total	2.013.400	100,0	2.109.117	100,0	4,8
Motocicleta	536.730	26,7	591.816	28,1	10,3
Vagoneta	546.322	27,1	561.963	26,6	2,9
Automóvil	341.386	17,0	351.119	16,6	2,9
Camioneta	196.064	9,7	201.910	9,6	3
Camión	130.592	6,5	133.869	6,3	2,5
Minibús	119.445	5,9	122.538	5,8	2,6
Jeep	63.198	3,1	63.759	3,0	0,9
Tracto - Camión	26.416	1,3	27.669	1,3	4,7

Microbus	19.684	1,0	19.634	0,9	0,3
Furgón	14.692	0,7	15.400	0,7	4,8
Bus	12.312	0,6	12.477	0,6	1,3
Quadra Track	5.277	0,3	5.534	0,3	4,9
Ambulancia	1.048	0,1	1.168	0,1	0
Maquinaria pesada	113	0,0	135	0,0	19,5
Torpedo	93	0,0	93	0,0	0
Trimóvil - Camión	28	0,0	33	0,0	17,9

Fuente: Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT) Instituto Nacional de Estadística (INE).

El crecimiento también puede ser medido por el PIB (Producto interno bruto) a la última gestión del año como se presenta en la Figura 2.20 el consumo de combustible se puede notar en el Tabla N° 2.19.

Figura 2.20 Producto Interno Bruto (PIB) Anual



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

Tabla N° 2.19 Consumo de gasolina y diésel

Gestion	Cantidad gasolina	Porcentaje %	Cantidad Diesel	Porcentaje %
2005	3,42		6,62	
2006	3,75	9,65	7,28	9,97
2007	4,32	15,2	7,59	4,26
2008	5,21	20,6	7,87	3,69
2009	5,76	10,56	7,95	1,02
2010	6,37	10,59	8,37	5,28
2011	6,96	9,26	9,11	8,84
2012	7,48	7,47	9,84	8,01
2013	8,14	8,82	10,67	8,43
2014	8,83	8,48	11,27	5,62
2015	9,52	7,81	11,36	0,8
2016	10,38	9,03	11,38	0,18

Fuente: Y.P.F.B. REFINACIÓN.

En el Tabla N° 2.20 se puede observar resultados del último censo en Bolivia

Tabla N° 2.20 Indicadores de población según departamento y municipio censo 2012

Departamento y municipio	Población empadronada 2001			Población empadronada 2012			Tasa de migración interna	Tasa anual de crecimiento
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres		
TARIJA	391226	195305	195921	483518	241118	242400		1,9
Cercado								
Tarija	153457	73954	79503	205375	99522	105853	1,7	2,6
Aniceto Arce								
Padcaya	19260	10074	9186	18681	9611	9070	-0,5	-0,3
Bermejo	33310	17140	16170	34505	17235	17270	0,1	0,3
Gran Chaco								
Yacuiba	83518	41695	41823	92245	46112	46133	0,7	0,9
Caraparí	9035	5124	3911	15366	8946	6420	13,7	4,7
Villamontes	23765	12531	11234	39867	20584	19283	7,8	4,6
Avilez								
Uriondo	12331	6155	6176	14781	7345	7436	2,7	1,6
Yunchará	5173	2451	2722	5490	2730	2760	-3,8	0,5
Méndez								
Villa San Lorenzo	21375	10391	10984	23863	11729	12134	2,0	1,0
El Puente	10663	5120	5543	11354	5674	5680	0,6	0,6
Burnet O'Connor								
Entre Ríos	19339	10670	8669	21991	11630	10361	-0,8	1,1

Fuente: Instituto nacional de estadística.

2.19 CONFIABILIDAD Y DESVIACIÓN ESTANDAR

El nivel de confianza es uno de los parámetros importantes introducidos por la AASHTO al diseño de pavimentos, porque establece un criterio que está relacionado con el desempeño del pavimento frente a las sollicitaciones exteriores. La confiabilidad se define como la probabilidad de que el pavimento diseñado se comporte de manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto, bajo las sollicitaciones de carga e interperismo, o la probabilidad de que los problemas de deformación y fallas estén por debajo de los niveles permisibles.

La confiabilidad del diseño toma en cuenta las posibles variaciones de tráfico previstas, así como en las variaciones del modelo de comportamiento AASHTO, proporcionando un nivel de confiabilidad (R %) que asegure que las secciones del pavimento duren el periodo para el cual fueron diseñadas en la Tabla N° 2.21 se puede ver el tipo de carretera y su recomendación de confiabilidad.

El desvío estándar es una medida del desvío de los datos con respecto al valor medio. Cuanto menor sea el desvío estándar, los datos medidos estarán más próximos al valor medio, estos valores fueron desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el AASHO Road Test y en base a predicciones futuras de tránsito, ver Tabla N° 2.22 para el nivel de confiabilidad recomendado y el Tabla N° 2.22 desviación estándar en función al tipo de pavimento.

Tabla N° 2.21 Nivel de confiabilidad aconsejado

Tipo de carretera	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99,9	80-99,9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

La esquematización del comportamiento real del pavimento y la curva de diseño propuesta por la AASHTO tienen la misma forma, pero no coinciden. La falta de coincidencia se debe a los errores asociados a la ecuación de comportamiento propuesta y a la dispersión de la información utilizada en el dimensionamiento del pavimento. Por esta razón la AASHTO adoptó un enfoque regresional para ajustar estas dos curvas. De esta forma los errores se representan mediante una desviación estándar S_o , para compatibilizar los dos comportamientos

Tabla N° 2.22 Desviación estándar bajo condiciones de diseño

Condiciones de diseño	Desviación estándar (S_o)	
	Pav. rígido	Pav. flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0,34	0,44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0,39	0,49

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

El factor de ajuste entre las dos curvas se define como el producto de la desviación normal Z_R , por la desviación estándar S_o . Los factores de desviación normal estándar Z_R se muestran en el Tabla N° 2.23 en relación con la confiabilidad.

Si la construcción se va a realizar por etapas, la vida útil ha de ser menor al periodo de análisis (vida útil < periodo de análisis), en este caso se deben considerar las confiabilidades de todo el periodo de diseño, de donde resulta que:"

(American Association of State and Highway Transportation Officials, 1993)

$$R_{etapa} = R_{total}^{\frac{1}{n}} \quad (2.8)$$

Donde:

n = Número de etapas previstas.

R_{etapa} = Confiabilidad de cada etapa

R_{total} = Confiabilidad para el periodo total de diseño.

Este aspecto es sumamente importante para el diseño de pavimentos.

Tabla N° 2.23 Relación de confiabilidad y el valor de Z_R

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar Z_R
50	0
60	0,253
70	0,524
75	0,674
80	0,841
85	1,037
90	1,282
91	1,34
92	1,405
93	1,476
94	1,555
95	1,645
96	1,751
97	1,881
98	2,054
99	2,327
99,9	3,09
99,99	3,75

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

2.20 MÓDULO RESILIENTE

“La subrasante es la capa en la que se apoya la estructura del pavimento y la característica especial que define la propiedad de los materiales que componen la subrasante, se conoce como módulo resiliente (MR).

La calidad de los suelos en el caso de las subrasantes: se puede relacionar con el módulo de resiliencia, módulo de Poisson, valor soporte del suelo (CBR) y el módulo de reacción de la subrasante(k). El módulo de resiliencia es una medida de la propiedad elástica de los suelos que reconoce a su vez las características no lineales de su comportamiento. El módulo de resiliencia puede ser usado directamente para el diseño de pavimentos flexibles, pero también puede ser convertido a un módulo de reacción de la subrasante (valor k) para el diseño de pavimentos rígidos. La subrasante es definida como el suelo preparado y compactado para soportar la estructura de un sistema de pavimento. Estas propiedades de los suelos que constituyen la subrasante, subbase y base son las variables

más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento”

(Ing. Coronado Iturbide, 2002)

“El Manual de ABC, recomienda que para la capa subbase en cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR mayor o igual a 40% y la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de Los Ángeles de no más de 40%. En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte $CBR \geq 80\%$; la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de Los Ángeles, de no más de 35%. En caso de tratamiento superficial doble, el soporte deberá ser $CBR \geq 100\%$. También, proporciona un medio de evaluación de los materiales de construcción de pavimentos, incluyendo suelos de subrasante, bajo una variedad de condiciones ambientales y de estado de esfuerzos, que simulen en la realidad las situaciones existentes en pavimentos sometidos a cargas móviles del tránsito. M_R es el módulo resiliente, esto es, la relación entre el esfuerzo dinámico y la deformación que puede substituirse, en procedimientos analíticos que incluyen cargas de tráfico dinámico y requieren de un módulo de elasticidad.

$$M_R = \frac{\sigma_d}{E_r}$$

Cámara de compresión triaxial. La cámara de compresión triaxial se utiliza para contener la muestra y el fluido de confinamiento durante el ensayo. La cámara es similar a muchas celdas triaxial normales, excepto que es algo más grande para facilitar la carga montada internamente y el equipo de medida de la deformación, y que tiene salidas adicionales para las guías eléctricas de los aparatos de medida”

(Manual técnico para el diseño de carreteras, 2007)

Con los valores del CBR se pueden obtener los módulos resilientes utilizando las relaciones siguientes:

$$\text{Si } CBR < 10\% \quad (2.9)$$

$$M_R(\text{PSI}) = 1500 * CBR$$

$$\text{Si } CBR \geq 10\% \text{ y } < 80\%$$

$$M_R(\text{MPa}) = 22.1 * CBR^{0.55} \quad (2.10)$$

$$M_R(\text{PSI}) = 3.205 * CBR^{0.55} \quad (2.11)$$

2.21 MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (K)

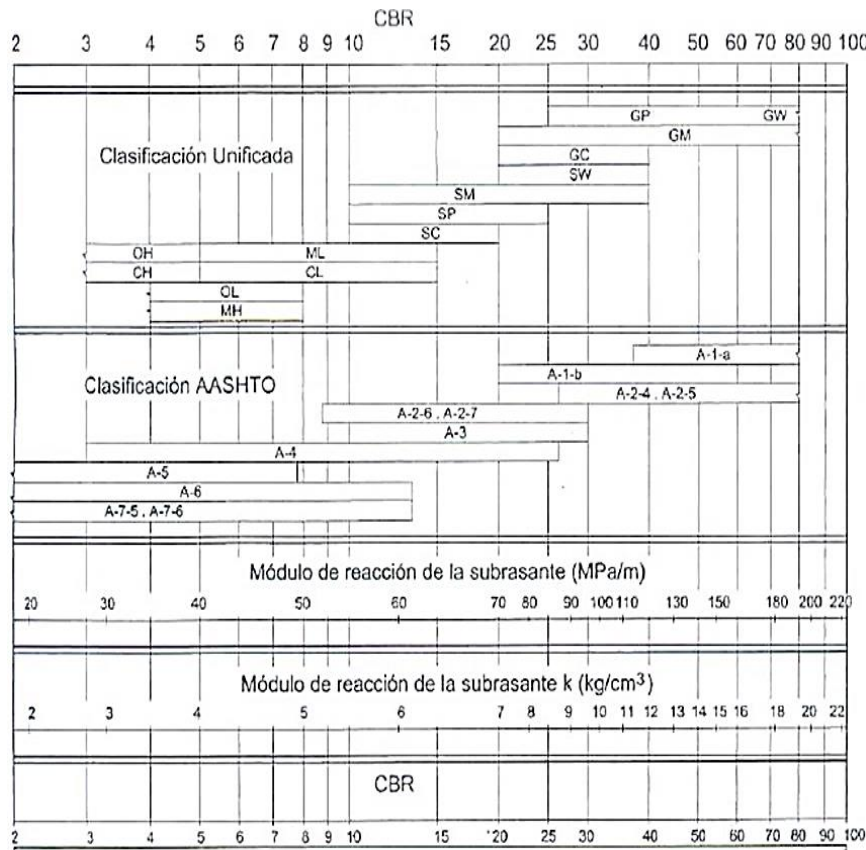
Este factor nos da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (Pci).

Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere tiempo y es costosa, el valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la razón de soporte californiana (CBR) o las pruebas de valores R. El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k; las variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento.”

(American Association of State and Highway Transportation Officials, 1993)

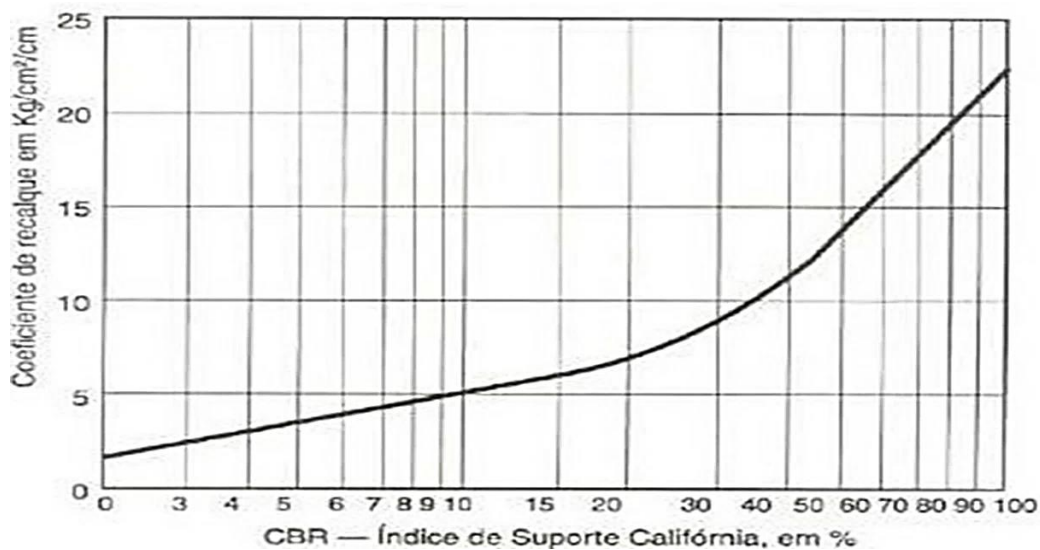
Las relaciones de la Figura 2.21 son satisfactorias para propósitos de diseño y la Figura 2.22 que es una curva relacionada en función al CBR, la Figura 2.23

Figura 2.21 Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante



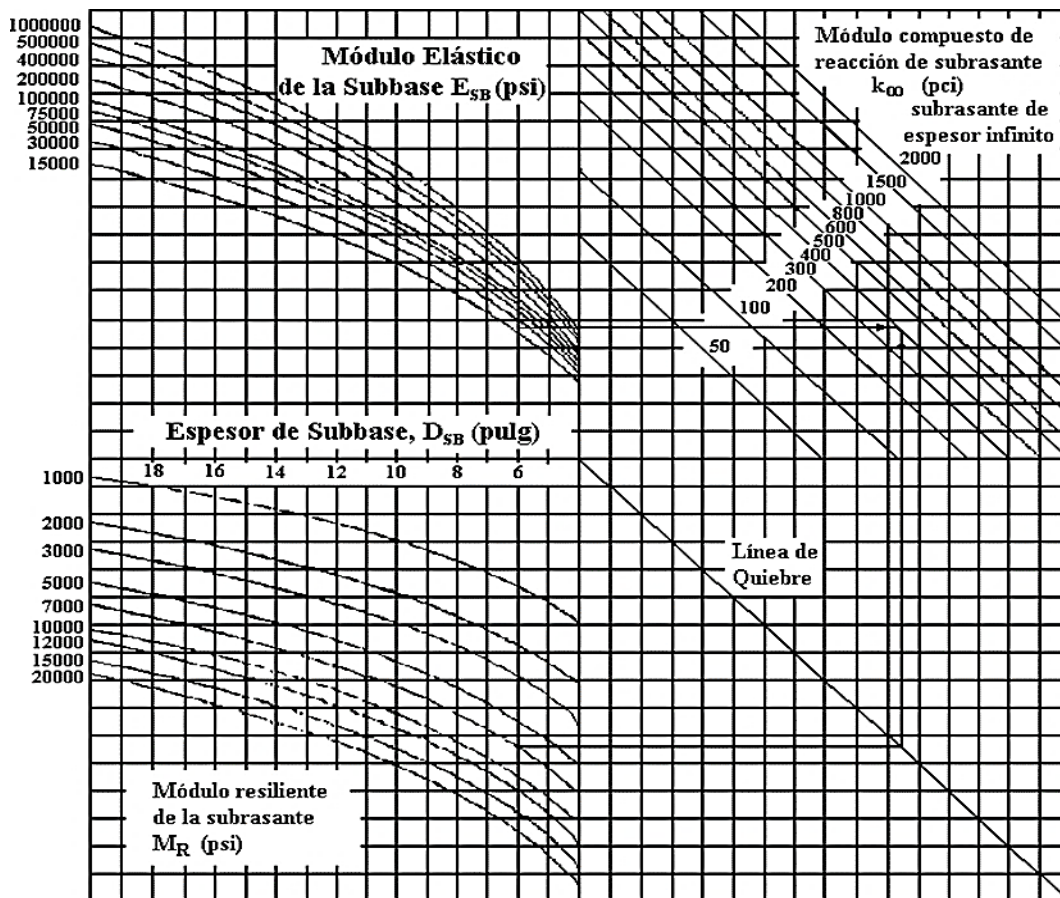
Fuente: Manual Portland Cement Association: Subgrades and subbases for concrete Pavements-Skokie. PCA 1971.

Figura 2.22 Correlación CBR y coeficiente de reacción de la subrasante



Fuente: SENÇO, 1997.

Figura 2.23 Módulo compuesto de reacción de la subrasante



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Tabla N° 2.24 Aumento de k debido a presencia de subbase granular

Valor de soporte de subrasante		Valor soporte sobre el sistema estructural (MPa/m), para espesor de base igual a:			
CBR (%)	K (MPa/m)	10 cm.	15 cm.	20 cm.	30 cm.
2	16	19	22	27	33
3	24	27	31	37	45
4	30	34	38	44	54
5	34	38	42	49	59
6	38	42	46	53	65
7	41	45	50	56	69
8	44	48	53	60	72
9	47	52	56	63	76
10	49	54	58	65	79
11	51	56	60	67	81
12	53	58	62	69	84
13	54	59	63	70	85
14	56	61	65	72	87
15	57	62	66	73	88
16	59	64	68	75	91
17	60	65	69	76	92
18	61	66	70	77	93
19	62	67	71	78	94
20	63	68	73	79	96

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

2.22 SERVICIABILIDAD

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de serviciabilidad presente PSI (Present Serviciability Index) mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfecto). En el diseño del pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La inicial, P_o es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. La final o terminal, P_f es función de la categoría del camino y es adoptada en base a ésta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados son los que se obtuvieron en el AASHO Road Test, se puede observar en el Tabla N° 2.25.

Serviciabilidad inicial:

$P_o = 4,5$ para pavimentos rígidos

$P_o = 4,2$ para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final:

$P_f = 2,5$ o más para caminos muy importantes

$P_f = 2,0$ para caminos de menor tránsito.

Tabla N° 2.25 Índice de serviciabilidad

Índice de serviciabilidad (PSI)	Calificación
5-4	Muy buena
4-3	Buena
3-2	Regular
2-1	Mala
1-0	Muy mala

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

2.23 DRENAJE

El valor de este coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, la AASHTO define cinco capacidades de drenaje, que se muestran en el Tabla N° 2.26.

Un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la subrasante (el módulo resiliente aumenta cuando baja el contenido de humedad), mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas.

Tabla N° 2.26 Capacidad de drenaje

Calidad de drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Más de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Esta calidad de drenaje se expresa en la fórmula del dimensionamiento (número estructural) a través de unos coeficientes de drenaje que afectan a las capas no ligadas (Tabla N° 2.27).

Tabla N° 2.27 Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,2
Bueno	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1
Regular	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,8
Pobre	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,6
Muy pobre	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,4

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Para el diseño de pavimentos rígidos se usan los coeficientes de drenaje C_d que ajustan la ecuación de diseño que considera la resistencia de la losa, las tensiones y condiciones de soporte (Tabla N° 2.28).

Tabla N° 2.28 Coeficientes de drenaje para pavimentos rígidos

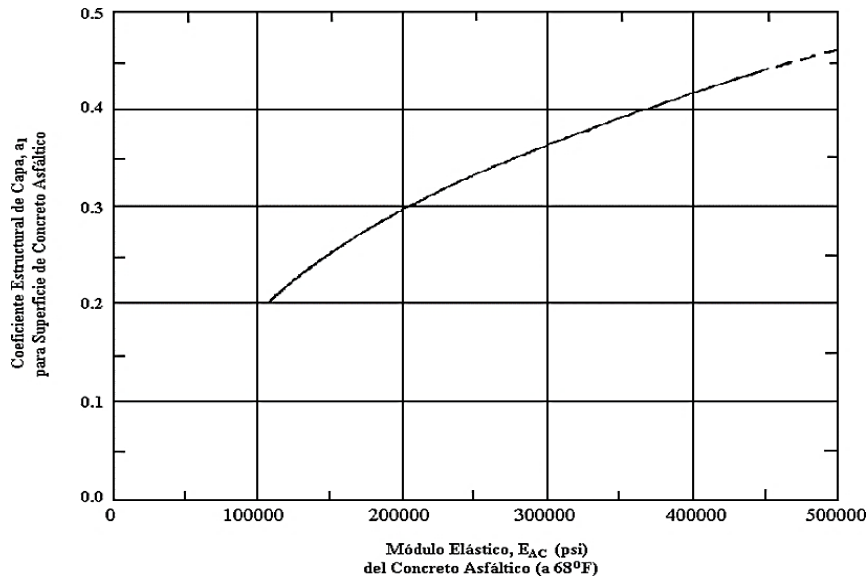
Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1,25-1,20	1,20-1,15	1,15-1,10	1,1
Bueno	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10-1,00	1
Regular	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00-0,90	0,9
Pobre	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90-0,80	0,8
Muy pobre	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80-0,70	0,7

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

2.24 COEFICIENTES ESTRUCTURALES

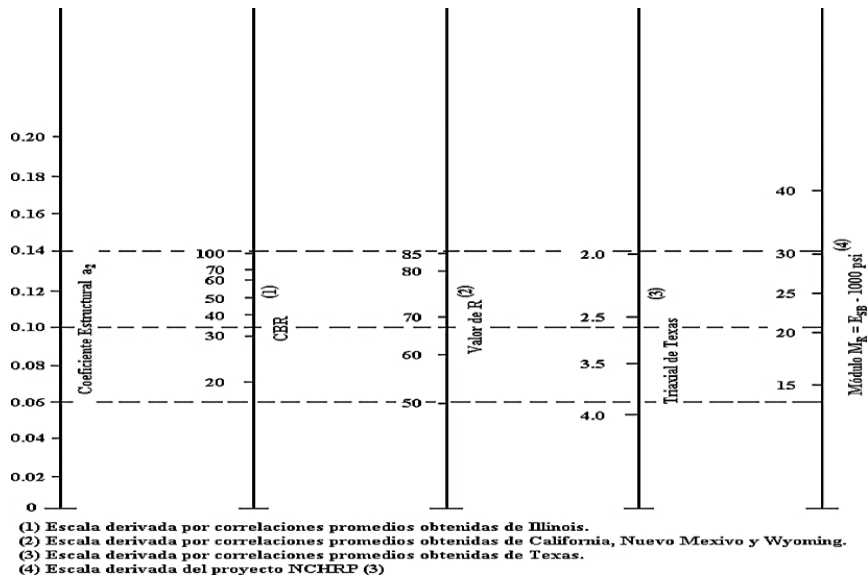
Los coeficientes de capa a1, a2 y a3 se obtienen utilizando las correlaciones de valores de diferentes pruebas de laboratorio: Módulo Resiliente, Texas Triaxial, valor R y CBR, tal como se muestra en las Figuras 2.24 a 2.28. Estos coeficientes son una medida de la capacidad relativa de cada capa como componente estructural de un pavimento, aunque directamente no sean un índice de la resistencia del material.

Figura 2.24 Coeficiente estructural de capa asfáltica



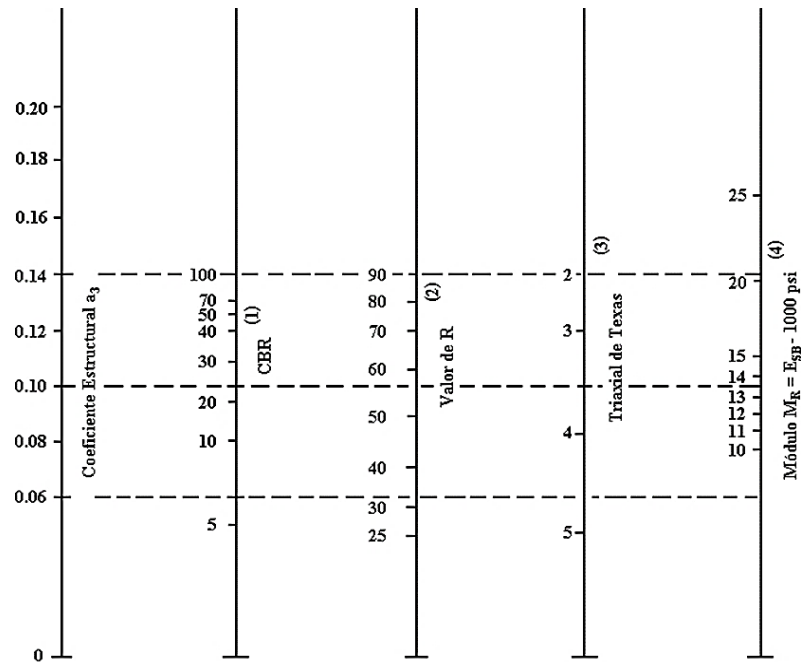
Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Figura 2.25 Coeficiente estructural para base granular



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

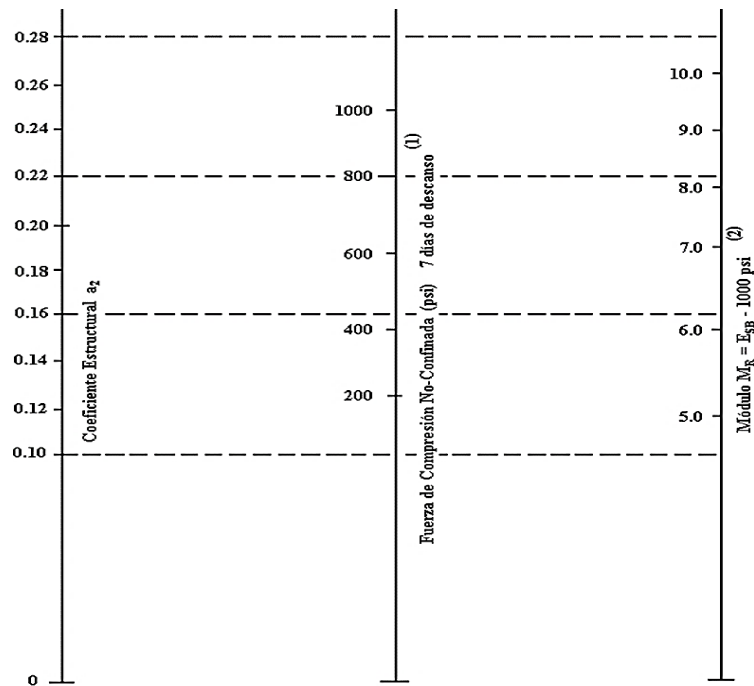
Figura 2.26 Coeficiente estructural para subbase granular



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexico y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

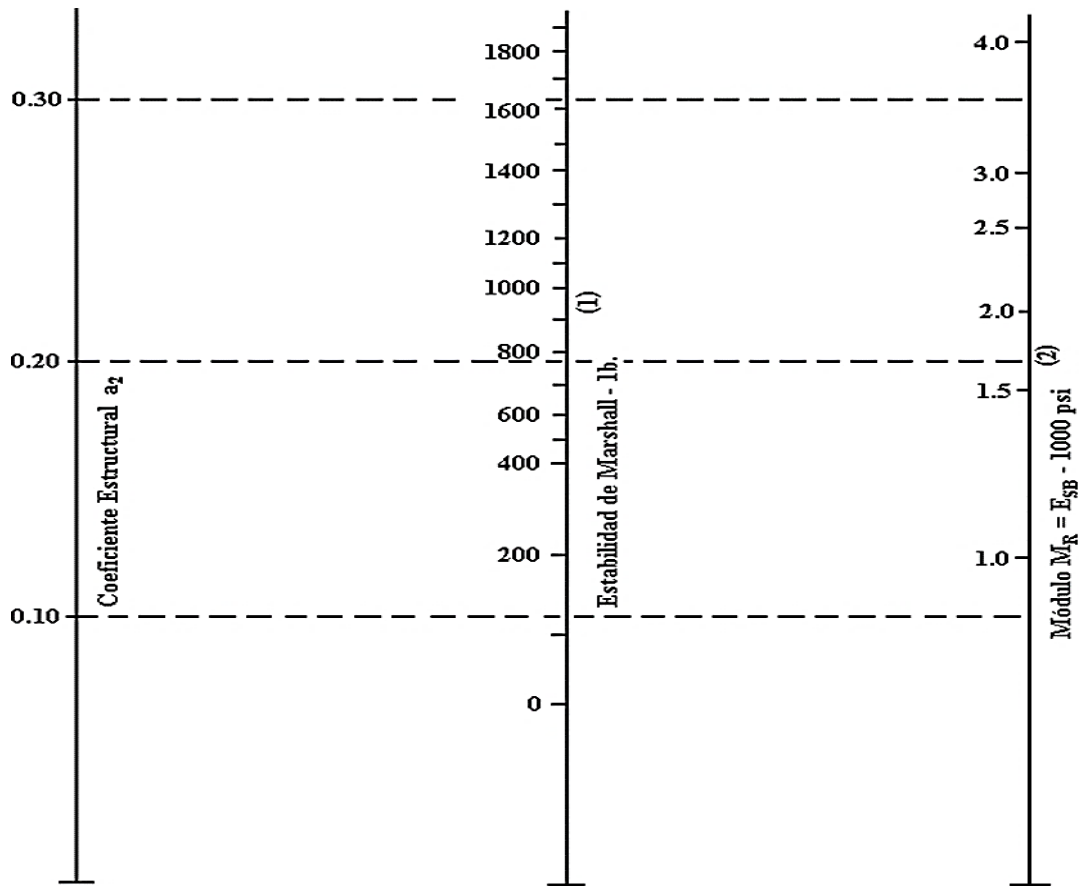
Figura 2.27 Coeficiente estructural para base granular y tratada con cemento



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios de Illinois, Louisiana y Texas.
- (2) Escala derivada en el proyecto NCHRP (3).

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Figura 2.28 Coeficiente estructural para base tratada con cemento



(1) Escala derivada por correlaciones promedios de Illinois.
 (2) Escala derivada en el proyecto NCHRP (3).

Fuente: Guid for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

2.25 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

“Este procedimiento está basado en modelos que fueron desarrollados en función de la performance del pavimento, las cargas vehiculares y resistencia de la subrasante para el cálculo de espesores.

El propósito del modelo es el cálculo del número estructural requerido (SN), en base al cual se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento.

2.25.1 Ecuación de pavimento flexible

$$\text{Log}W18 = (ZR)(So) + (9.36)(\text{log}(SN + 1)) - 0.20 + \frac{\text{log} \left[\frac{\Delta \text{ISP}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + (2.32)(\text{log}Mr) - 8.07 \quad (2.12)$$

Donde las variables que considera la metodología de AASHTO son:

Z_R = Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución.

R (%)= Confiabilidad del proyecto.

S_o = Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

P_t = Índice de servicio final.

P_o = Índice de servicio inicial.

M_R = Módulo resiliente de la subrasante. (psi)

W18= Tráfico equivalente o ESALs previstos.

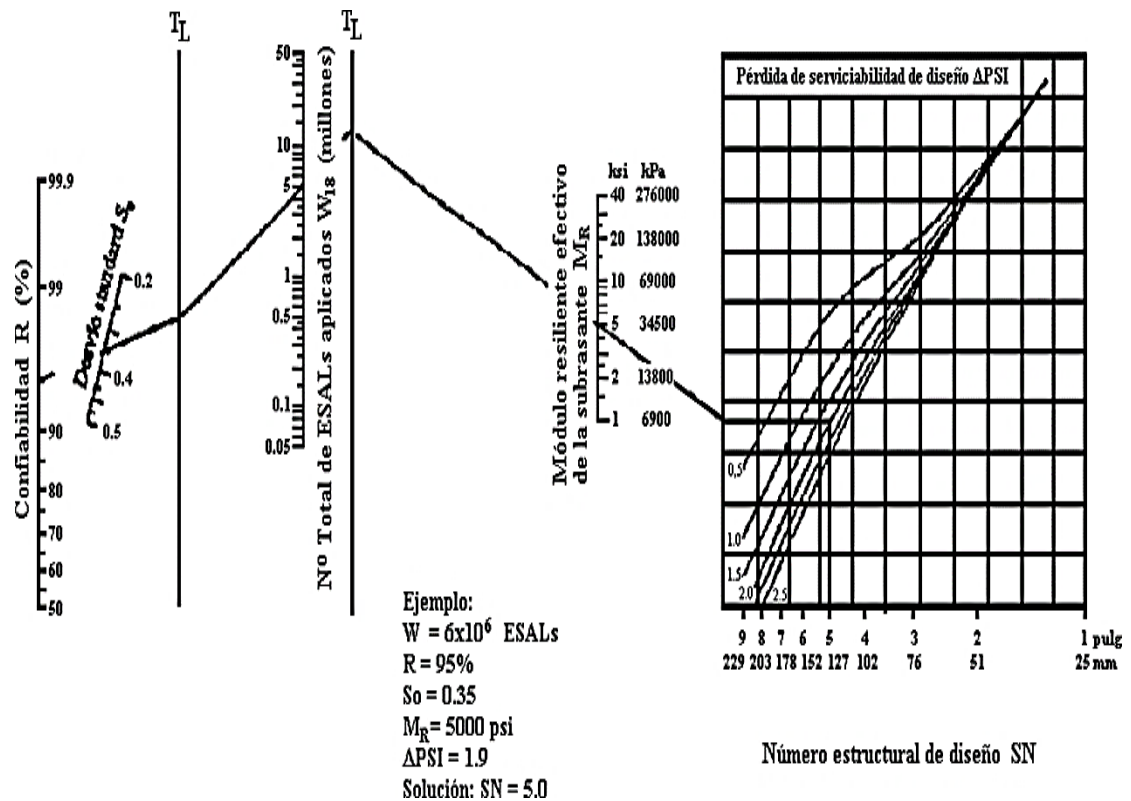
SN= Número estructural.

2.25.2 Nomograma de diseño pavimento flexible AASHTO 93

El nomograma sirve para el cálculo visual del número estructural (SN), donde los datos de entrada son:

ΔPSI , M_R , S_o , W18 y R (%), mencionadas en las variables ver Tabla N° 2.29.

Gráfica N° 2.29 Nomograma de diseño de pavimento flexible



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

2.25.3 Diseño de espesores

La estructura del pavimento flexible está formada por un sistema de varias capas, por lo cual debe dimensionarse cada una de ellas considerando sus características propias.

Una vez que el diseñador ha obtenido el número estructural SN a partir de la subrasante para la sección estructural del pavimento, se requiere determinar una sección multicapa, que en conjunto provea una suficiente capacidad de soporte, equivalente al número estructural de diseño. Para este fin se utiliza la siguiente ecuación que permite obtener los espesores de la capa de rodadura o carpeta, de la capa base y de la subbase:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3 \quad (2.13)$$

Donde:

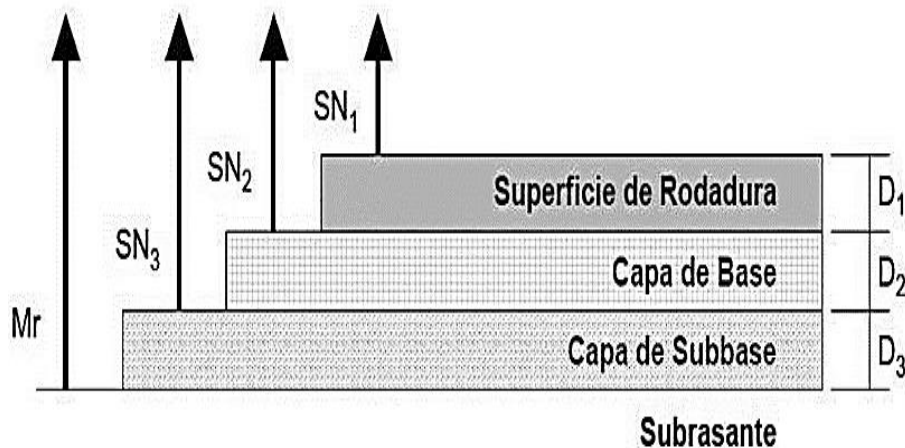
a_1, a_2, a_3 = Son los coeficientes estructurales o de capa (adimensionales), carpeta de rodadura, capa base y capa subbase.

m_2, m_3 : son los coeficientes de drenaje para capa base y subbase.

D_1, D_2, D_3 = Son los espesores de capas (Espesor de la carpeta, base y subbase) en pulgadas o mm., en este sentido, el número estructural llevará las unidades de los espesores de las diferentes capas del pavimento.

En el control de los espesores D_1, D_2 y D_3 , a través del SN, se busca dar protección a las capas granulares no tratadas, de las tensiones verticales excesivas que producirían deformaciones permanentes, como se muestra en la Figura 2.29.

Figura 2.29 Número estructural



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

$$D1 \geq \frac{SN1}{a1} \quad (2.14)$$

Se adopta un espesor D1 ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa será:

$$SN^c_{1= a1 * D1} \quad (2.15)$$

Para determinar el espesor mínimo de la capa base, se usa el MR de la subbase, para obtener el número estructural SN2 que será absorbido por la carpeta y la capa base, de donde:

$$D2 \geq \frac{SN2 - SNc1}{a2 * m2} \quad (2.16)$$

Se adopta un espesor D2 ligeramente mayor y el número estructural absorbido será:

$$SN^c_{2= a2 * m2 * D2} \quad (2.17)$$

Finalmente, para la subbase se ingresa con el MR que corresponde a la subrasante y se obtiene SN3= SN para todo el paquete estructural, por tanto, el espesor será:

$$D3 \geq \frac{SN - (SNc1 + SNc2)}{a3 * m3} \quad (2.18)$$

Se adopta un espesor D3 ligeramente mayor y el número estructural absorbido por la subbase será:

$$SN^c_{3= a3 * m3 * D3} \quad (2.19)$$

La suma de los números estructurales de las capas que constituyen el pavimento debe ser mayor o igual a:

$$SN^c_1 + SN^c_2 + SN^c_3 \geq SN \quad (2.20)$$

Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores sobre capas que tengan un módulo resiliente mayor a 40.000 psi (280 MPa).

En este caso los espesores se determinarán mediante criterios constructivos o de acuerdo a la relación costo - eficiencia.

2.26 DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre la subrasante o subbase. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

2.26.1 Ecuación de pavimento rígido

$$\text{LogW18} = (Z_r)(S_o) + (7.35)(\log(D + 1)) - 0.06 + \frac{\log\left[\frac{\Delta\text{PSI}}{4.2 - 1.5}\right]}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32\text{Pt}) \log \left[\frac{S_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_c}{k}\right]^{0.25}} \right]} \right] \quad (2.21)$$

Donde las variables que considera la metodología de AASHTO son:

Z_R = Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución.

R (%)= Confiabilidad del proyecto.

S_o = Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

P_t = Índice de servicio final.

P_o = Índice de servicio inicial.

W_{18} = Tráfico equivalente o ESALs previstos.

D = Espesor de pavimento de concreto (en pulgadas)

S'_c = Resistencia media del concreto (en psi) o flexotracción a los 28 días (métodos de carga en los tercios de la luz)

C_d = Coeficiente de drenaje

J = Coeficiente de transferencia de cargas.

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en psi

K = Módulo de reacción (en Pci, libras por pulgada cúbica) de la superficie (subbase, subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

2.27 VARIABLES DE ENTRADA

Las variables de entrada son las mismas que para el pavimento flexible, pero se adicionan las propiedades del hormigón.

2.28 MATERIALES QUE FORMAN PARTE DEL HORMIGÓN

2.28.1 Módulo de rotura del concreto

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión.

La resistencia a compresión ($f'c$) es la resistencia a 28 días a cara axial lograda en especímenes de concreto.”

(American Association of State and Highway Transportation Officials, 1993)

“Además, se debe indicar su clase de resistencia en MPa o en lbs/pulg², según sea el caso, 21, 28, 35 y 42 MPa (3000, 4000, 5000 y 6000 lb/pulg²)”.

(Ing. Coronado Iturbide, 2002)

El módulo de rotura o resistencia a la tracción por flexión del hormigón $S'c$ se determina con el ensayo a flexión con carga al tercio ecuación 2.22 y por tracción indirecta como se ve en la ecuación 2.23.

$$S'c = K * \sqrt{f'c} \quad (2.22)$$

Donde:

$f'c$ = Es la resistencia a compresión del hormigón (psi).

$S'c$ = Resistencia media del concreto (en psi)

K = Constante de valores entre 7 y 12.

Resistencia a tracción indirecta ayuda a determinar la variable resistencia media del concreto.

$$S'c = 1.02 * f'i + 210 \quad (2.23)$$

Donde:

$f'i$ = Resistencia a tracción indirecta en psi.

$$S'c = 1.02 * f'i + 1450 \quad (2.24)$$

Donde:

$f'i$ = Resistencia a tracción indirecta en kPa.

Tabla N° 2.29 Valores de contracción del hormigón

Resistencia a la tracción indirecta $f'i$ kPa (psi)	Contracción en mm./mm. (pulg/pulg)
2070 (300)	0,0008
2760 (400)	0,0006
3450 (500)	0,00045
4140 (600)	0,0003
4830 (700)	0,0002

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

El coeficiente de dilatación térmica depende de la relación A/C, de la edad del hormigón, del contenido de cemento, de la humedad relativa y del tipo de agregado. Los valores recomendados por AASHTO se muestran en Tabla N° 2.31.

Tabla N° 2.30 Coeficiente de dilatación del hormigón

Tipo de agregado grueso	Coeficiente de dilatación	
	x 10 ⁻⁶ /°C	x 10 ⁻⁶ /°F
Cuarzo	11,9	6,6
Arenisca	11,7	6,5
Grava	10,8	6
Granito	9,5	5,3
Basalto	8,6	4,8
Caliza	6,8	3,8

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Tensión en el acero: Se debe utilizar el 75% de la resistencia última del acero. En el Tabla N° 2.32 se muestran los valores de tensiones para acero de grado 60.

Tabla N° 2.31 Tensiones de trabajo del acero en MPa (ksi)

f _i ' del Hormigón a los 28 días		Dimensión de las barras de refuerzo		
kPa	psi	12mm.	16mm.	20mm.
2070	300	448 (65)	393 (57)	372 (54)
2760	400	462 (67)	414 (60)	379 (55)
3450	500	462 (62)	421 (61)	386 (56)
4140	600	462 (67)	434 (63)	400 (58)
4830	700	462 (67)	448 (65)	407 (59)
5520	800	462 (67)	462 (67)	414 (60)

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

2.28.2 Módulo de elasticidad

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas

y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura.

$$E_c = 57000 * \sqrt{f'_c} \quad (2.25)$$

Donde:

E_c = Módulo de elasticidad del concreto (psi).

f'_c = Es la resistencia a compresión del hormigón (psi).

$$E_c = 150000 * \sqrt{f'_c} \quad (2.25)$$

Donde:

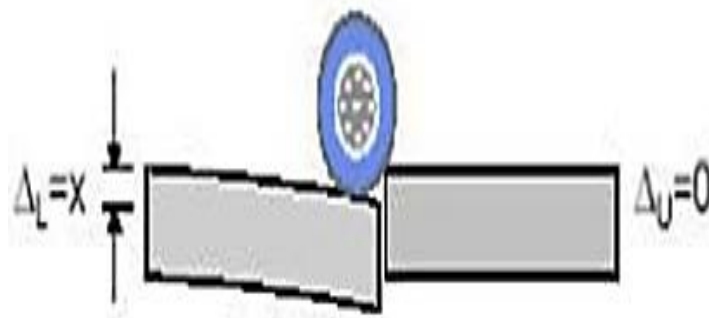
E_c = Módulo de elasticidad del concreto (kPa).

f'_c = Es la resistencia a compresión del hormigón (kPa).

2.28.3 Coeficiente de transferencia de carga

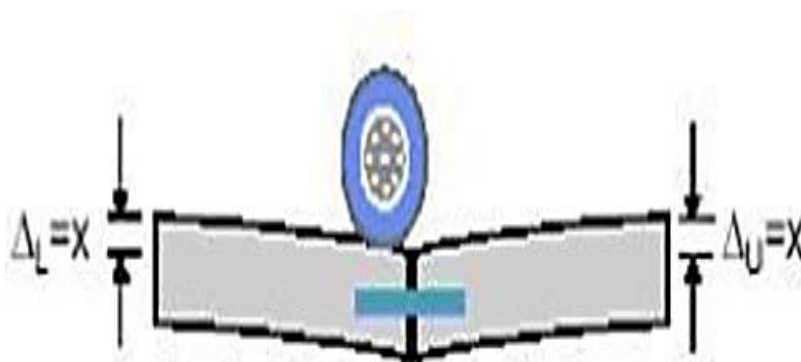
Se refiere a la capacidad de una losa de transferir una parte de su carga a la losa vecina. De este modo, una junta con el 100% de transferencia de carga será aquella que transfiera la mitad de su carga a la losa vecina, reduciendo por tanto sus tensiones de borde según se muestra en la Figura 2.30 y 2.31.

Figura 2.30 Transferencia de carga nula= 0 %



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Figura 2.31 Transferencia de carga excelente= 100 %



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Se considera un coeficiente de transferencia de carga J , con el fin de evaluar la capacidad del pavimento para transferir cargas a través de juntas y fisuras. En el Tabla N° 2.33. se muestran valores de coeficientes (J), recomendadas para diferentes condiciones:

Tabla N° 2.32 Coeficientes de transferencia de cargas

Tipo de pavimento	Berma de Asfalto		Berma de H vinculada	
	Disp. de transferencia		Disp. de transferencia	
	Si	No	Si	No
Junta sencilla y junta reforzada	3,2	3,80 - 4,40	2,50 - 3,10	3,60 - 4,20
Continuamente reforzada	2,90 - 3,20	N/D	2,30 - 2,90	N/D

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

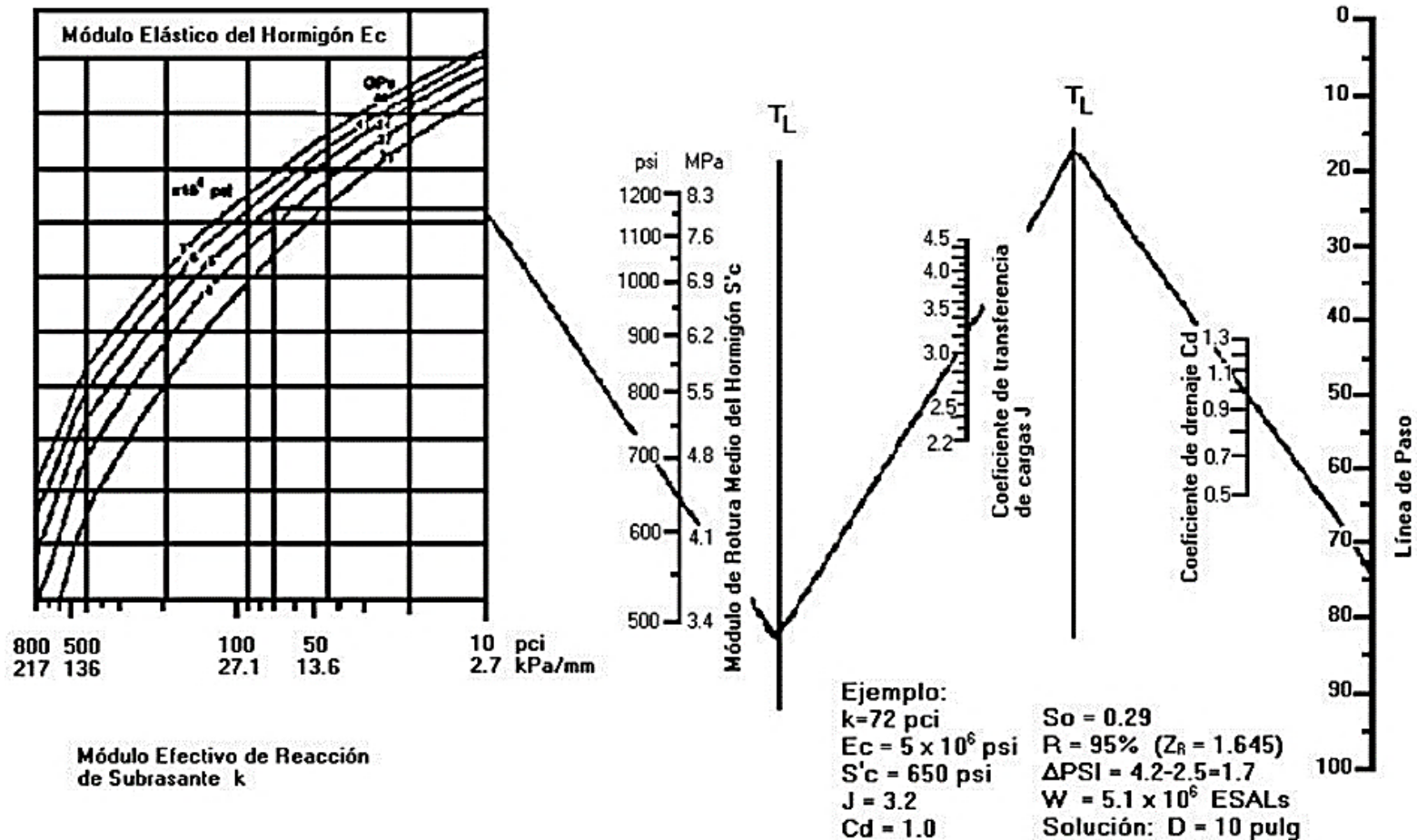
El diseño de pavimentos rígidos es sumamente sensible a esta variable y es importante su consideración en función de las características de clima, de suelo y condiciones generales de apoyo a fin de seleccionar un valor dentro de los rangos previstos.

Los rangos inferiores de "J" son sólo aplicables si se tienen suelos duros y condiciones climáticas apropiadas. Las columnas que indican "Berma de asfalto" implican que no existe ningún soporte lateral, es por tanto aplicable a berma de tierra, losa suelta y separada de un cordón en calles etc.

Mientras que "Berma de Hormigón" significa un sobrecimiento macizo de al menos 50 cm. con acceso restringido; cunetas atadas; cordones vinculados a la losa o berma de hormigón vinculada propiamente dicha.

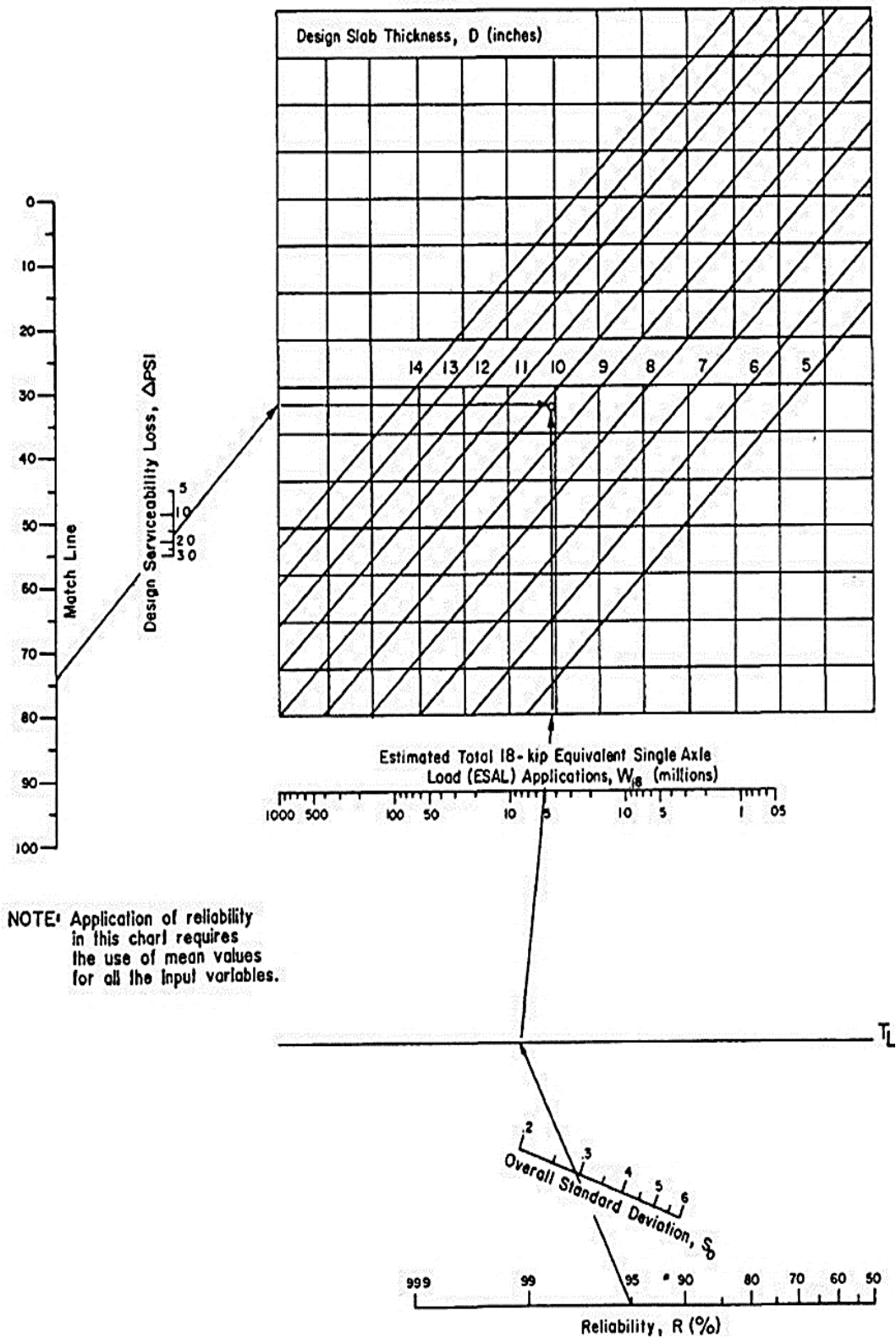
2.28.4 Nomograma del diseño

Gráfica N° 2.34 Nomograma para el diseño de pavimento rígido



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Gráfica N° 2.35 Nomograma para el diseño de pavimento rígido



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

2.29 VARIABLES PARA EL CÁLCULO DE ARMADURAS EN PAVIMENTOS CON JUNTAS

2.29.1 Longitud de losa

Es la distancia de separación entre las juntas transversales. El valor numérico de esta longitud afecta el comportamiento de los pavimentos de hormigón armado, en mayor grado mientras mayor sea la longitud.

2.29.2 Tensiones de trabajo

La tensión de trabajo recomendada para las barras de acero (f_s) es el 75% de la tensión de fluencia, para un acero grado 40, la tensión admisible es de 207 MPa (30000 psi) y para un acero de grado 60 es de 307 MPa (45000 psi), más valores se encuentran en la Tabla N° 2.36.

Tabla N° 2.33 Propiedades de los aceros

Grado	ASTM	fy min	fy max	fu min
		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
40	A 615	2,300	-	4,200
60	A 615	4,200	-	6,300
75	A 615	5,300	-	7,000
60	A 706	4,200	5,500	5,600

Fuente: <http://biblioteca.uns.edu.pe>

2.29.3 Factor de fricción

Representa la resistencia friccional entre la base inferior de la losa y la superficie superior de la subbase o subrasante (si no tiene subbase). Esta resistencia se valora a través del factor de fricción “F” que fue obtenido considerando la teoría de fricción de un cuerpo sobre otro y se utiliza para determinar el porcentaje de acero requerido, mediante la ecuación 2.27 en unidades inglesas y 2.28 en unidades métricas.

$$P_s = \left(\frac{L * F}{2 * f_s} \right) * 100 \quad (2.27)$$

Donde:

P_s = Porcentaje de armadura requerida.

L = Longitud de losa.

F = Factor de fricción.

f_s = Tensión de trabajo del acero (psi)

Para unidades métricas la ecuación se transforma en:

$$P_s = \left(\frac{\gamma_{Ho} * L * F}{2 * f_s} \right) * 100 \quad (2.28)$$

Donde:

P_s = Porcentaje de armadura requerida

γ_{Ho} = Peso específico del hormigón $\approx 22,5 \text{ Kn/m}^3$

L = Longitud de losa en metros

F = Factor de fricción

f_s = Tensión de trabajo del acero en kPa

El factor de fricción representa la fuerza requerida, en relación al peso de la losa, para hacer deslizar la losa sobre la subbase. Por ejemplo, $F = 1,5$ significa que se requiere una fuerza de 1,5 veces de peso de la losa, para deslizar la misma sobre la subbase. En el Tabla N° 2.37 se indican algunos valores de factor de fricción.”

(American Association of State and Highway Transportation Officials, 1993)

Tabla N° 2.34 Valores del factor de fricción

Tipo de material bajo la losa	Factor de fricción (F)
Tratamiento superficial	2,2
Estabilización con cal	1,8
Estabilización con asfalto	1,8
Estabilización con cemento	1,8
Grava de río	1,5
Piedra triturada	1,5
Arenisca	1,2
Subrasante natural	0,9

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

2.29.4 Resistencia a la tracción del hormigón

Se debe considerar la resistencia a tracción a los 28 días y el valor del 86% del módulo de rotura del hormigón.

2.29.5 Retracción del hormigón

La retracción por secado es la que ocurre por pérdida de agua y su efecto es una reducción de las dimensiones de la pieza del hormigón. Los valores recomendados por AASHTO 1993 están en el Tabla N° 2.35

Tabla N° 2.35 Valores de contracción del hormigón

Resistencia a la tracción indirecta f'_i kPa (psi)	Contracción en mm./mm. (pulg/pulg)
2070 (300)	0,0008
2760 (400)	0,0006
3450 (500)	0,00045
4140 (600)	0,0003
4830 (700)	0,0002

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

2.29.6 Coeficiente de dilatación del hormigón

El coeficiente de dilatación térmica depende de la relación A/C, de la edad del hormigón, del contenido de cemento, de la humedad relativa y del tipo de agregado. Los valores recomendados por AASHTO se muestra en el Tabla N° 2.36.

Tabla N° 2.36 Coeficiente de dilatación del hormigón

Tipo de agregado grueso	Coeficiente de dilatación	
	$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{F}$
Cuarzo	11,9	6,6
Arenisca	11,7	6,5
Grava	10,8	6
Granito	9,5	5,3
Basalto	8,6	4,8
Caliza	6,8	3,8

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

El cálculo del número de barras requeridos en el diseño por la ecuación 2.29 y la separación de las barras de junta longitudinal por la ecuación 2.30.

$$N = 0.01273 * P_s * W_s * \frac{D}{\phi^2} \quad (2.29)$$

Donde:

N= Cantidad de barras requeridas.

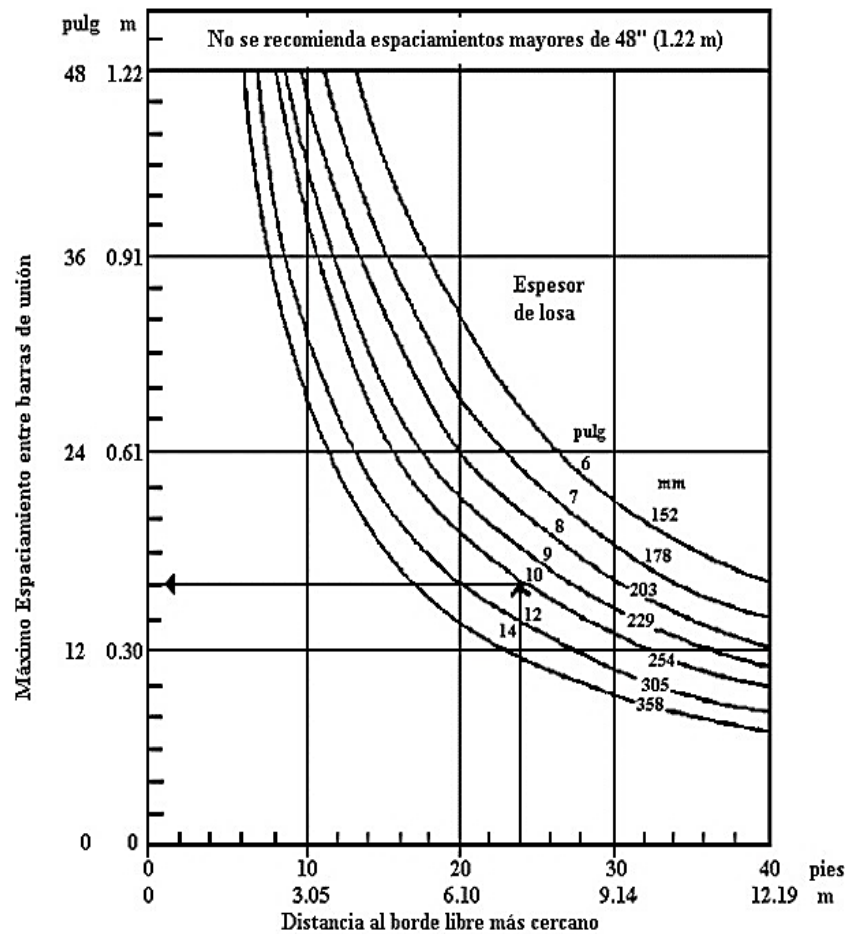
P_s= Porcentaje de armadura requerida.

W_s= Ancho total de la sección del pavimento (pulg).

D= Espesor de la losa de hormigón (pulg).

Ø²= Diámetro de barra de acero (pulg).

**Figura 2.32 Espaciamiento máximo recomendado para barras de unión de 13 mm.
en pavimentos de hormigón simple. acero grado 40**



Ejemplo: Distancia al borde libre = 24 pies

D = 10 pulg

Solución: Espaciamiento = 16 pulg

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Diseño de armadura longitudinal, esta armadura se utiliza tanto en pavimentos de hormigón armado con juntas, como en pavimentos continuos. Se colocan con el fin de controlar las fisuras longitudinales, para que éstas se mantengan cerradas, minimizando el ingreso de agua y garantizando una buena transferencia de cargas.

La ecuación 30 puede ser usada para la determinación de separación entre barras:

$$Y = \frac{As}{Pt * D} * 100 \quad (2.30)$$

Donde:

Y= Separación entre barras

As= Sección transversal de acero

Pt= Porcentaje de acero

D= Espesor de losa

Se recomienda que la separación entre barras, Y, se encuentre entre 914 a 1524 [mm.] (36 a 60 pulg).

Tabla N° 2.37 Tensiones de trabajo del acero en MPa (ksi)

f _i ' del Hormigón a los 28 días		Dimensión de las barras de refuerzo		
kPa	Psi	12mm.	16mm.	20mm.
2070	300	448 (65)	393 (57)	372 (54)
2760	400	462 (67)	414 (60)	379 (55)
3450	500	462 (62)	421 (61)	386 (56)
4140	600	462 (67)	434 (63)	400 (58)
4830	700	462 (67)	448 (65)	407 (59)
5520	800	462 (67)	462 (67)	414 (60)

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

Tabla N° 2.38 Dimensiones en pasajuntas en pavimentos urbanos

Espesor del pavimento (cm.)	Diámetro de la pasajunta		Longitud (cm.)	Separación (cm.)
	mm.	Pulgadas		
10 – 150	16	⁵ / ₈	30	45
15 – 18	20	³ / ₄	38	38
18 – 20	25	1	38	30
20 - 25	32	1 ¹ / ₄	38	30

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures AASHTO 1993.

2.29.7 Cálculo de las barras de unión transversal

Estas barras se colocan a lo largo de las juntas longitudinales o entre el borde de calzada y una banquina vinculada. Su función es la de evitar la separación entre carriles de circulación o el descenso de una respecto a la otra. Además, no deben unirse muchas losas ya que esto restringiría el movimiento entre losas provocando problemas. El ancho máximo de pavimento a unir es de 11,6 m (dos carriles de 3,7 m de ancho, una berma externa de 3 m y una berma interna de 1,2 m de ancho).

2.30 APLICACIÓN

Es un término que proviene del vocablo latino applicatio y que hace referencia a la acción y el efecto de aplicar o aplicarse (poner algo sobre otra cosa, emplear o ejecutar algo, atribuir). Este es un vocablo que puede tener varios usos o significados; y puede aludir al posicionamiento o colocación de algo en particular sobre otro o que haga contacto con este. Uno de los usos más destacados en la actualidad para aplicación reside en la informática donde es un programa creado para un uso en específico.

2.31 PROGRAMA ECUACIÓN AASHTO 93

Para el desarrollo del diseño de pavimentos por el método de AASHTO, se cuenta con un software que calcula el SN (número estructural), a partir de datos como serviciabilidad inicial y final, confiabilidad, desviación estándar, módulo resiliente de la capa, número de ejes equivalentes (W18).

Figura 2.33 Programa Ecuación AASHTO 93

The image shows a screenshot of the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is organized into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Two radio buttons, 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu for 'Reliability (R)' and a text input field for 'So'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Two text input fields for 'PSI inicial' and 'PSI final'.
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text input field for 'Mr' followed by the unit 'psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four text input fields: 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Two radio buttons, 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18', with a text input field for 'W18 -'.
- Número Estructural:** A text input field for 'SN ='.

At the bottom of the window are two buttons: 'Calcular' and 'Salir'.

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

2.31.1 Desarrollo del programa

Se desarrolló este programa con el fin de resolver las ecuaciones de los nomogramas de diseño de pavimentos del método AASHTO 93 para calcular:

- 1.-El número estructural (SN) para pavimentos flexibles.
- 2.-El espesor de la losa de concreto hidráulico (D) para pavimento rígido.
- 3.-El número de ejes equivalentes de 18000 libras (W18) que puede soportar una configuración particular de cualquiera de los dos tipos de pavimentos mencionados.

Este tipo de programa es relativamente popular y por eso se ha intentado hacerlo simple y eficaz sobre la base de la experiencia del autor con aplicaciones similares. Sin embargo, lo mejor es que cada estudiante intente desarrollar sus propias herramientas de trabajo de acuerdo con sus gustos, necesidades y capacidades. Sobre decir que, para un manejo apropiado de este programa, el usuario debe estar familiarizado con la metodología AASHTO, sobre todo en el establecimiento de los valores de entrada.

2.31.2 Operación

Los pasos a seguir en el análisis de una estructura de pavimento son:

- 1.-Defina el tipo de pavimento a analizar rígido o flexible.
- 2.-Seleccione la confiabilidad (R%) y la Desviación estándar total (So) del diseño.
- 3.-Defina los niveles de serviciabilidad inicial y final.
- 4.-Ingrese el valor del módulo resiliente de la subrasante (Mr) en psi para pavimentos flexibles o el valor del módulo de reacción de la subrasante (k) en Pci para pavimentos rígidos.
- 5.-Si el tipo de pavimento que se analiza es rígido debe suministrar la siguiente información adicional:
 - a. Módulo de elasticidad del concreto (Ec) en psi.
 - b. Módulo de rotura del concreto (Sc) en psi.
 - c. Coeficiente de transmisión de carga(J).
 - d. Coeficiente de drenaje (Cd).
6. Especifique si el cálculo a realizar es del número estructural (SN) para pavimentos flexibles o el espesor de la losa(D) para pavimentos rígidos o del número de ejes equivalentes de 18000 libras(W18) que soporta una configuración estructural de cualquier tipo.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA SOBRE EL EFECTO DE CARGAS EN LOS PAVIMENTOS

3.1 UBICACIÓN

El área correspondiente a los tramos de estudio del presente proyecto, se encuentra ubicada en Bolivia, en el departamento de Tarija Provincia Cercado, en la ciudad de Tarija. La Provincia Cercado es una de las seis Provincias que conforman el departamento de Tarija, esta se encuentra ubicada en el Centro-Oeste del departamento y limita al Noroeste con la Provincia Méndez, al este con la Provincia de Burdet O'Connor, al sur con la Provincia Arce y al Suroeste con la Provincia Avilés, Tarija es la capital de todo el departamento.

La ciudad de Tarija tiene un clima templado con una temperatura promedio de 25 °C.

Las vías urbanas en estudio corresponden a tramos pavimentados dentro del área urbana de la ciudad de Tarija.

Figura 3.1 Mapa de Bolivia



Fuente: Atlas de Bolivia.

Figura 3.2 Plano regional de Tarija



Fuente: Atlas de Bolivia.

Figura 3.3 Plano de la Provincia Cercado



Fuente: Atlas de Bolivia.

Figura 3.4 Plano de la ciudad de Tarija



Fuente: Atlas de Bolivia.

Figura 3.5 Vista Satelital de la Ciudad de Tarija



Fuente: Google Earth.

El estudio del proyecto se realiza en dos áreas de la ciudad de Tarija que cuentan con los requisitos necesarios para ejecutarlo, es por esto que la aplicación práctica del estudio requiere de datos específicos de estos dos tramos.

Los tramos en los que se realiza el estudio son:

Avenida Víctor Paz Estenssoro (pavimento flexible)

Avenida Circunvalación. (pavimento rígido)

Dichos pavimentos fueron divididos en subtramos los cuales son los siguientes:

Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario (pavimento flexible)

Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín (pavimento flexible)

Avenida Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte (pavimento rígido)

Avenida Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón. (pavimento rígido)

Avenida Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz (pavimento rígido).

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO

Las áreas de estudio se encuentran ubicadas en la ciudad de Tarija que cuenta con las siguientes características:

- **Población**

Tarija ciudad originalmente fundada con el nombre de Villa de San Bernardo de la Frontera de Tarixa, es un municipio y una ciudad de Bolivia, capital del departamento homónimo. cuenta con una población de 247.000 habitantes, por lo que es la ciudad más poblada de la Provincia de Cercado y la séptima de Bolivia. se encuentra ubicada en el valle del río nuevo Guadalquivir a 1834 msnm.

- **Geografía**

Se encuentra situada en el valle central del departamento de Tarija y limita al Norte y Oeste con la Provincia Méndez, al este con la Provincia de Burdet O'Connor y al Sur con las Provincias de Avilés y Aniceto Arce. su clima es templado, con una temperatura promedio de 18°C. Tarija tiene acceso vial hacia la frontera con la Argentina y con las

ciudades de Sucre y Potosí y cuenta con el Aeropuerto Internacional Cap. Oriel Lea Plaza. sus recursos hídricos están distribuidos en dos cuencas: la del río Santa Ana y la de los ríos Tolomosa y Sella, siendo este último afluente del río Guadalquivir.

- **Clima**

El clima de la ciudad de Tarija y el valle en la que se encuentra es llamado "Paraíso de la primavera", ya que predomina durante la mayor parte del año un clima templado o mesotérmico, con una temperatura promedio de 20 °C, aunque cada estación es muy marcada, sin embargo durante los inviernos (especialmente durante el mes de julio) la temperatura suele bajar de los 0° c llegando a disminuciones térmicas increíbles para la latitud y altitud (la zona es en los mapas "tropical"): todos los inviernos son fríos; por ejemplo en 1966 se registró en esta ciudad una temperatura absoluta de -9,5 °C (nueve grados y medio bajo cero) y el 20 de julio de 2010 en la misma ciudad de San Bernardo de Tarija la temperatura bajó a - 9, 2 °C (nueve grados con dos décimas bajo cero) acompañada tal temperatura por copiosas nevadas.

- **Hidrografía**

En el departamento de Tarija comprenden dos sistemas hidrográficos. el primer sistema está formado principalmente por los ríos Pilcomayo que entre los más importantes podemos mencionar el río Pilaya, San Juan de oro Tomayapo etc. el segundo sistema está formado por las siguientes unidades hidrográficas, la cuenca del río bermejo, la cuenca del río Grande de Tarija, la cuenca del río Caraparí.

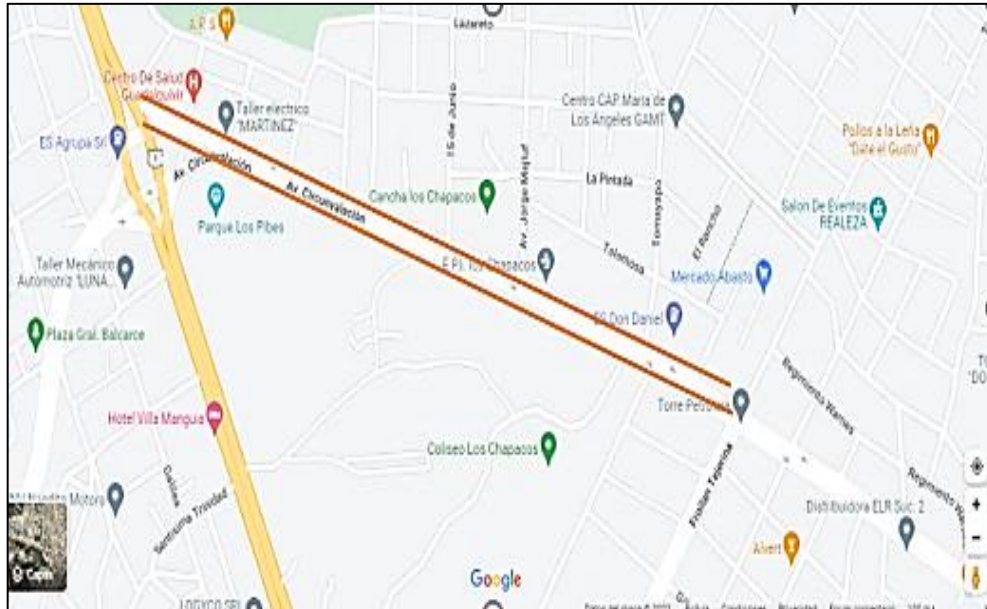
3.2.1 Avenida Circunvalación

La Avenida Circunvalación es una de las Avenidas más importantes de la ciudad de Tarija que se han realizado durante los últimos 40 años, la segunda en relevancia después de la Avenida Víctor Paz Estenssoro (Las Américas). El historiador tarijeño, Elías Vacaflor, ha indicado que dicha fue construida en julio del año 1983 durante la gestión del alcalde Roberto Magarzo.

El área de estudio de la Avenida Circunvalación está ubicada entre la Avenida La Paz hasta llegar a la ruta de la carretera Norte, que tiene una longitud de 3,643 Km. es un tramo bastante concurrido por cual transita transporte pesado, trasporte público y vehículos particulares, todos estos con bastante frecuencia, este tramo se encuentra dividido en tres subtramos que son los siguientes:

- **Avenida Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte (pavimento rígido)**

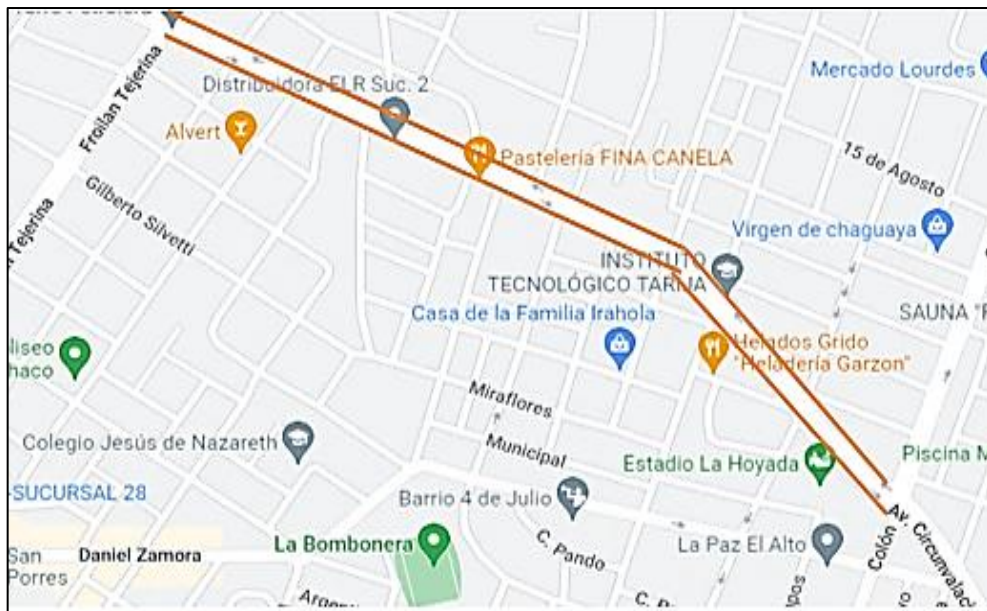
Figura 3.6 Avenida Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte



Fuente: Googlemaps.

- **Avenida Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina la calle Colón (pavimento rígido)**

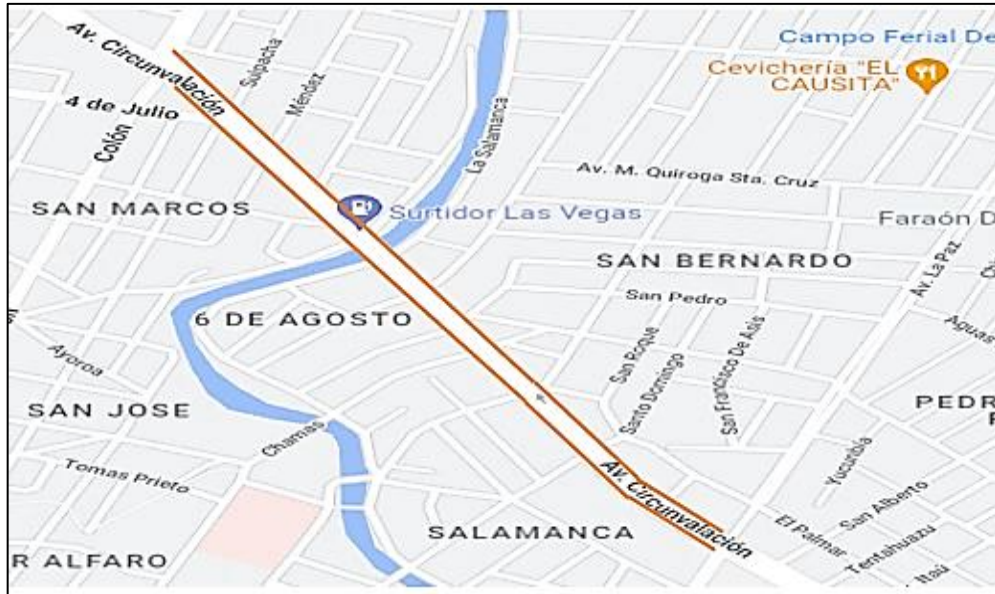
Figura 3.7 Avenida Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina la calle Colón.



Fuente: Googlemaps.

- **Avenida Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz (pavimento rígido)**

Figura 3.8 Avenida Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz



Fuente: Googlemaps.

3.2.2 Avenida Víctor Paz Estenssoro

La Avenida Víctor Paz Estenssoro es una de las Avenidas más importantes de la ciudad de Tarija (las américas), es una vía fundamental en la vida de Tarija, es el lugar por donde se entra a la capital chapaca hasta llegar a la exterminal.

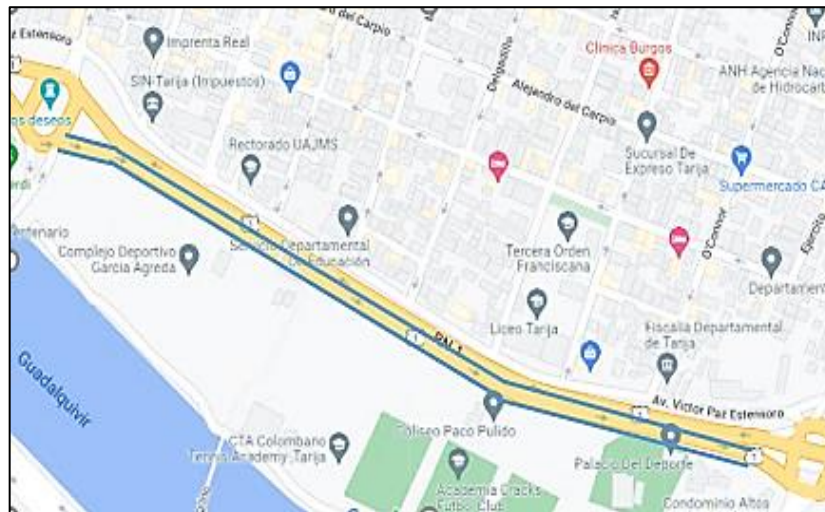
La Avenida Víctor Paz Estenssoro evolucionó con el tiempo en el tema de inseguridad construyo el comando departamental de la policía se encuentra ubicado sobre en dicha Avenida, sin embargo, la zona se volvió peligrosa ya que le cercanía del río y la poca afluencia de gente hacen que sea un lugar frecuentado por antisociales también se construyó una pasarela debido al incremento del parque automotor en Tarija ha motivado que aumente el tráfico vehicular en la “Avenida” convirtiéndola en un lugar peligroso para los peatones a la altura del complejo deportivo García Agreda se ha construido una pasarela para facilitar el cruce de la Avenida y la Fuente de los deseos.

El área de estudio de la Avenida Víctor Paz Estenssoro está ubicada entre el puente Bolívar y el puente San Martín, que tiene una longitud de 1,725 Km. es un tramo bastante concurrido por cual transita transporte pesado, trasporte público y vehículos particulares,

todos estos con bastante frecuencia, este tramo se encuentra dividido en dos subtramos que son los siguientes:

- **Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario (pavimento flexible)**

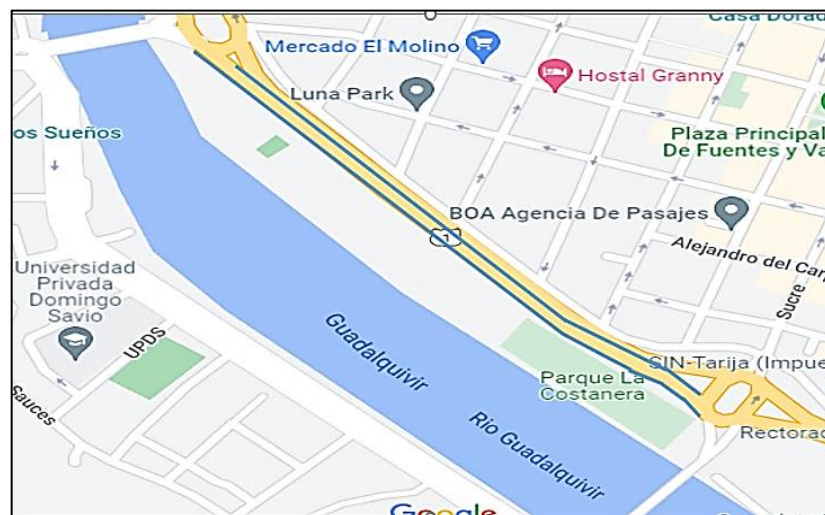
Figura 3.9 Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario



Fuente: Googlemaps.

- **Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín (pavimento flexible)**

Figura 3.10 Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín



Fuente: Googlemaps.

3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EN EL ÁREA DE PROYECTO

3.3.1 Características de la Avenida Circunvalación

Tabla N° 3.1 Datos Avenida Circunvalación

Espesor de losa	21	cm
Dimensión de losa	4,15*3,75	m
Resistencia a la compresión del concreto (fc)	428	kg/cm ²
CBR capa subrasante terreno natural	3,7	%
CBR capa subrasante mejorada	18	%
CBR capa subbase	45	%
Espesor de la Capa subbase	27	cm
Espesor de la subrasante mejorada	34	cm
Densidad de la losa	2400	cm

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Características de la Avenida Víctor Paz Estenssoro

Datos Avenida Víctor Paz Estenssoro

Espesor de carpeta asfáltica: 8cm

Tamaño máximo de agregado: 1"= 25mm.

Tamaño máximo nominal de agregado: 3/4"= 19 mm.

Contenido de asfalto %= 6,01

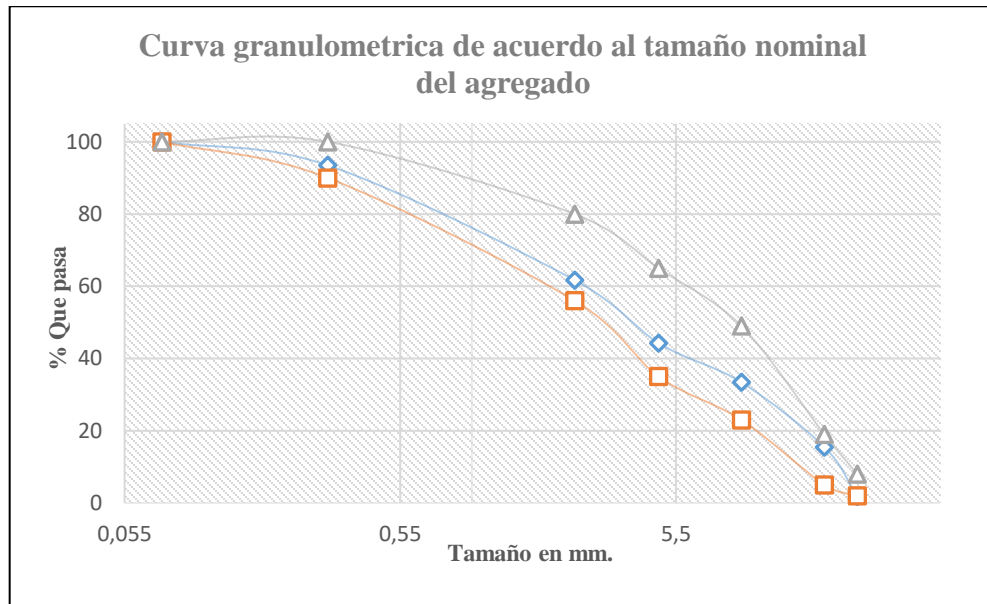
Granulometría del agregado pétreo

Tabla N° 3.2 Granulometría del agregado pétreo

Tamices	Tamaño (mm.)	%Pasa de muestra	Mínimo	Máximo
1"	25,000	100,000	100	100
3/4"	19,000	93,490	90	100
3/8"	9,500	61,710	56	80
N° 4	4,750	44,260	35	65
N° 8	2,360	33,410	23	49
N° 50	0,300	15,460	5	19
N° 200	0,075	1,780	2	8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.11 Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia.

3.4 EFECTO DE LAS CARGAS

3.4.1 Medición de volúmenes en las áreas de estudio

Con el propósito de conocer la demanda actual, se realizaron volúmenes de tráfico en cada uno de los subtramos mencionados, los volúmenes se realizaron en las horas picos, tres horas por día, dos días hábiles y un día no hábil durante cuatro semanas (un mes). lo que nos permite conocer el movimiento vehicular en cada tramo, con su clasificación vehicular (vehículo pesado, mediano, liviano de acuerdo a la clasificación vehicular de la ABC).

3.4.2 Aforos

La aforación se hizo de manera manual para obtener los volúmenes, con personal adecuado y bien capacitado para recabar una información completa, ya que el conteo manual sería complicado y moroso.

El proceso de aforación manual lo realiza un observador que anota los vehículos que pasan por la vía designada en los puntos de observación ubicándose al centro de cada subtramo, se empleó, en una planilla de aforo en función de la clasificación vehicular según la normativa de la ABC.

3.4.3 Tipos de aforo

Definir cuanto tiempo se va realizar los aforos para estudiar su comportamiento; es importante y necesario. en la actualidad existen países que por el avance tecnológico

tienen monitoreo permanente de los volúmenes de tráfico lo que quiere decir registro de todas las horas de todos los días del año cuando esto no sucede requerimos a la información tenemos dos alternativas:

- Según ABC se establece como tiempo de aforo mínimo para un proyecto vial 7 días de la semana y las 24 horas del día.

- Según la AASHTO, establece un proyecto vial cuyo registro de volúmenes son requeridos, primero se toma un día completo de aforo cuyo resultado establece las tres horas pico del día; en función a ello se realiza el aforo en función a esas horas pico por tres días a la semana, dos días hábiles y un día no hábil durante un periodo del mes.

3.4.4 Procedimiento de Aforo

Como indica la normativa AASHTO, el tiempo para la toma de datos fueron las horas pico en los que se tenía mayor movimiento de tráfico, para poder tener los tiempos pico se hizo el estudio de un día de horas 07:00 a.m. hasta 19:00 p.m.

El aforo vehicular se encuentra en Anexo I y se realizó en cada uno de los subtramos mencionados.

Con las horas pico ya definidas se procedió a realizar el aforo de volúmenes en las 3 horas correspondientes de cada día, dos días hábiles y un día no hábil, ubicándose en el centro de cada subtramo.

(7:00- 8:00, 12:00-13:00, 18:00-19:00)

En la Avenida Víctor Paz Estenssoro y Avenida Circunvalación, se realizó el aforo correspondiente, donde se obtuvo las horas pico las cuales son las siguientes:

07:00 – 08:00 a.m.

12:00 – 13:00 p.m.

18:00 – 19:00 p.m.

El aforo de la Avenida Víctor Paz Estenssoro y Avenida Circunvalación encuentra en Anexo II.

En estas horas pico se pudo tener en cuenta el flujo de mayor circulación y así hacer la toma de volúmenes correspondientes. Se realizaron la toma de datos 3 días, siendo 2 días hábiles de lunes a viernes y un día no hábil sábado o domingo, durante un mes.

El aforo vehicular se encuentra en planilla mostrada en el Anexo III.

3.4.5 Resultados de las horas pico en los subtramos de estudio

Tabla N° 3.3 Resultado de las horas pico promedio en todos los subtramos de estudio

Horas	7:00-8:00	12:00-13:00	18:00-19:00
Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario	1052	964	1008
Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín	1083	1121	934
Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte	1076	952	1036
Av. Circunvalación entre Av. Froilán Tejerina y la calle Colón	1005	923	1001
Av. Circunvalación entre la calle Colón y Av. La Paz	998	914	1025

Fuente: Elaboración propia.

3.4.6 Número equivalente de ejes de 80 Kn (ESALs)

los pavimentos se proyectan para que éstos resistan determinado número de cargas durante su vida útil. el tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, lo cual origina distintas fallas en éste. para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito se transforma a un número de cargas por eje simple equivalente de 18 Kips (80 Kn) o ESAL (Equivalent Single Axle Load), de tal manera que el efecto dañino de cualquier eje pueda ser representado por un número de cargas por eje simple.

3.4.6.1 Cálculo de tráfico promedio diario (TPD)

Para el cálculo del volumen de tráfico promedio diario se realizó mediante recomendación de la AASHTO, ya que cuando es posible tener información sobre el tránsito promedio horario se puede utilizar la relación establecida por la AASHTO y por la AIPCR organismos que han estudiado el efecto del volumen del tráfico quienes establecen la siguiente relación:













$$TPH = (12\% - 15\%) TPD$$

Con esa relación adoptamos la situación más crítica:

$$\text{TPD} = \text{TPH}/12\%$$

Esta relación nos permitirá conocer el mayor valor de tráfico promedio diario y de esta manera analizar la cantidad más crítica.

Tabla N° 3.4 Volumen de tráfico promedio diario Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Código	Tipo de vehículo	Figura	TPH promedio	TPD
1	Automóviles y vagonetas		943	7859
2	Camionetas (hasta 2 Tn)		50	417
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)		13	108
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		7	59
5	Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		3	26
6	Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		1	6
7	Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		10	83
8	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		1	8
9	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		1	11
10	Camiones semirremolque		0	3
11	Camiones remolque		0	0
12	Otros vehículos		142	1183
Total			1172	9763

Fuente: Elaboración propia.

3.4.6.2 Índice de crecimiento

El índice de crecimiento se calculó mediante el crecimiento en el año de estudio fue realizado en el año 2022.

Se cuenta con un registro del crecimiento del parque automotor según el tipo de vehículo en la ciudad de Tarija con datos del INE (Instituto Nacional de Estadísticas) se encuentra

en Anexo IV, debido a la falta de datos realizaremos una regresión con las ecuaciones ajustadas para los datos con los que contamos, se realizará un ejemplo de un tipo de vehículo, en este caso de automóviles y vagonetas para tomar como ejemplo el procedimiento de cálculo y una mejor comprensión del mismo.

Tabla N° 3.5 Ecuación ajustada del crecimiento del parque automotor de la ciudad de Tarija

Ecuaciones ajustadas del crecimiento del parque automotor Tarija	
Automóviles y vagonetas	$N^{\circ} = 2E-54e^{0,066*\text{año}}$
Camionetas (2tn)	$N^{\circ} = 1E-58e^{0,071*\text{año}}$
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	$N^{\circ} = 2E-59e^{0,071*\text{año}}$
Microbuses (hasta 21pjs;2 ejes)	$N^{\circ} = 2E-16e^{0,021*\text{año}}$
Buses medianos (hasta 35pjs;2ejes)	$N^{\circ} = 2E-19e^{0,024*\text{año}}$
Buses grandes (más de 35pjs;3ejes)	$N^{\circ} = 2E-19e^{0,024*\text{año}}$
Camiones medianos (de 2,5 a 10tn;2ejes)	$N^{\circ} = 6E-41e^{0,050*\text{año}}$
Camiones grandes (más de 10tn; 2ejes)	$N^{\circ} = 6E-41e^{0,050*\text{año}}$
Camiones grandes (más de 10tn;3ejes)	$N^{\circ} = 6E-41e^{0,050*\text{año}}$
Camiones semirremolque	$N^{\circ} = 2E-252e^{0,290*\text{año}}$
Camiones remolque	$N^{\circ} = 2E-252e^{0,290*\text{año}}$
Otros vehículos	$N^{\circ} = 1E-207e^{0,241*\text{año}}$

Fuente: Elaboración propia.

Con estas ecuaciones se realizó una serie de relleno para cada tipo de vehículo y para cada año requerido donde se obtuvo un índice de crecimiento para cada vehículo, las gráficas de dichas ecuaciones se encuentran en Anexo V.

Ejemplo automóviles y vagonetas:

$$N^{\circ} = 2 \times 10^{-54} * e^{0,066 * 2022}$$

$$N^{\circ} = 22334$$

Tabla N° 3.6 Volumen de tráfico para la ciudad de Tarija 2021-2022

Tipo de vehículo	2021	2022
Automóviles y vagonetas	20876	22334
Camionetas (2tn)	14965	15807
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	1820	1869
Microbuses (hasta 21pjs;2 ejes)	1384	1428
Buses medianos (hasta 35pjs;2ejes)	564	587
Buses grandes (más de 35pjs;3ejes)	564	587
Camiones medianos (de 2,5 a 10tn;2ejes)	8808	9102
Camiones grandes (más de 10tn; 2ejes)	8808	9102
Camiones grandes (más de 10tn;3ejes)	8808	9102
Camiones semirremolque	1165	1211
Camiones remolque	1165	1211
Otros vehículos	41082	44001

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando la ecuación realizamos el cálculo del índice de crecimiento con los valores de la tabla anterior.

$$i = \frac{\text{valor final} - \text{valor inicial}}{\text{valor inicial}} * 100$$

Donde:

Valor inicial= Cantidad de vehículos tipo del año 2022

Valor final= Cantidad de vehículos tipo del año 2021

i = Índice de crecimiento de cada tipo de vehículo

Ejemplo automóviles y vagonetas:

$$i = \frac{22334 - 20876}{22334} * 100$$

$$i = 6,53$$

Tabla N° 3.7 Índice de crecimiento

Tipo de vehículo	Índice de crecimiento
Automóviles y vagonetas	6,53
Camionetas (2tn)	5,33
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	2,62
Microbuses (hasta 21pjs;2 ejes)	3,08
Buses medianos (hasta 35pjs;2ejes)	3,92
Buses grandes (más de 35pjs;3ejes)	3,92
Camiones medianos (de 2,5 a 10tn;2ejes)	3,23
Camiones grandes (más de 10tn; 2ejes)	3,23
Camiones grandes (más de 10tn;3ejes)	3,23
Camiones semirremolque	3,8
Camiones remolque	3,8
Otros vehículos	6,63

Fuente: Elaboración propia.

3.4.6.3 Factor de crecimiento

Utilizando la ecuación realizamos el cálculo del factor de crecimiento con un periodo de diseño de 20 años y los índices de crecimiento de la tabla anterior.

Ejemplo automóviles y vagonetas:

$$FC = \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

Donde:

n= Periodo de diseño(años)

i= Índice de crecimiento anual de tránsito(adimensional)

FC= Factor de crecimiento de tránsito y no debe ser nula

Si es nula, el factor es igual al periodo de análisis.

Ejemplo automóviles y vagonetas:

$$FC = \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

$$FC = \frac{\left(1 + \frac{6,53}{100}\right)^{20} - 1}{\frac{6,53}{100}}$$

$$FC=38,94$$

Tabla N° 3.8 Factor de crecimiento

Tipo de vehículo	Factor de crecimiento
Automóviles y vagonetas	38,94
Camionetas (2tn)	34,23
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	25,86
Microbuses (hasta 21pjs;2 ejes)	27,09
Buses medianos (hasta 35pjs;2ejes)	29,53
Buses grandes (más de 35pjs;3ejes)	29,53
Camiones medianos (de 2,5 a 10tn;2ejes)	27,51
Camiones grandes (más de 10tn; 2ejes)	27,51
Camiones grandes (más de 10tn;3ejes)	27,51
Camiones semirremolque	29,16
Camiones remolque	29,16
Otros vehículos	39,39

Fuente: Elaboración propia.

3.4.6.4 Factor equivalente de carga (LEF, por sus siglas en inglés)

El factor equivalente de carga lo obtendremos de la tabla prevista por el manual de la AASHTO, estas tablas son específicas para cada tipo de eje (simple, tándem, trídem).

Para el uso de esta tabla se debe contar con los siguientes datos:

- El peso de cada vehículo normados en Bolivia (ley de cargas Nro. 441), en Kn o kips.
- Número de ejes para cada tipo de vehículo.
- Calcular los factores del eje delantero y trasero interpolando de la tabla de factores de equivalencia de carga.
- Tabular los datos en planillas para la sumatoria de dichos factores de equivalencia de carga.

3.4.6.5 Pesos normados en Bolivia ley de cargas N° 441

Los pesos máximos permitidos por cada eje o por cada grupo de ejes para la circulación de vehículos de transporte de carga y/o de pasajeros en la Red Vial Fundamental.

Tabla N° 3.9 Límites de cargas de vehículos pesados

Tipos de configuraciones de eje y grupos de ejes vehiculares	Peso máximo permitido por eje o grupo de ejes (toneladas)
Eje sencillo (direccional o fijo) de 2 llantos	7
Eje sencillo de 2 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	7,7
Eje tipo tándem de 4 llantas	10
Eje sencillo de 4 llantas	11
Eje tipo tándem de 4 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	12
Eje tipo tándem de 6 llantas	14
Eje tipo tándem de 6 llantas con un eje con cubiertas extra anchas y suspensión	16
Eje tipo trídem de 6 llantas	17
Eje tipo tándem de 8 llantas	18
Eje tipo trídem de 6 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	18
Eje tipo trídem de 10 llantas	21
Eje tipo trídem de 10 llantas con un eje con cubiertas extra anchas y suspensión	22
Eje tipo trídem de 12 llantas	25

Fuente: Límites de Cargas, ley de cargas (LEY N° 441).

son los que se observan en los Tabla N° 3.9 pesos por eje para vehículos pesados y Tabla N° 3.10 pesos por eje para vehículo liviano.

(La asamblea legislativa plurinacional, 2013)

Tabla N° 3.10 Límites de cargas vehículos livianos

Rango de ancho de sección de llanta		Peso bruto total máximo permitido	
De:	Hasta:	Vehículo con eje delantero sencillo de 2 llantas y un eje trasero sencillo de 2 llantas	Vehículo con eje delantero sencillo de 2 llantas y un eje trasero sencillo de 4 llantas
175 mm. (6,8")	190 mm. (7,5")	5,50 toneladas	7,00 toneladas
190 mm. (7,5")	270mm. (10,6")		

Fuente: Límites de Cargas, ley de cargas (LEY N° 441).

Tabla N° 3.11 Factores de equivalencia de carga







Carga total por eje o conjunto de ejes		Factores de equivalencia de carga		
Kn	lb	Eje sencillo	Ejes dobles	Ejes triples
4,5	1,000	0,00002		
8,9	2,000	0,00018		
17,8	4,000	0,00209	0,0003	
26,7	6,000	0,01043	0,001	0,0003
35,6	8,000	0,0343	0,003	0,001
44,5	10,000	0,0877	0,007	0,002
53,4	12,000	0,189	0,014	0,003
62,3	14,000	0,360	0,027	0,006
71,2	16,000	0,623	0,047	0,011
80,1	18,000	1,000	0,770	0,017
89,0	20,000	1,510	0,121	0,027
97,9	22,000	2,180	0,180	0,040
106,8	24,000	3,030	0,260	0,057
115,7	26,000	4,090	0,364	0,080
124,6	28,000	5,390	0,495	0,109
133,5	30,000	6,970	0,658	0,145
142,4	32,000	8,880	0,857	0,191
151,3	34,000	11,180	1,095	0,246
160,2	36,000	13,930	1,380	0,313
169,1	38,000	17,200	1,700	0,393
178,0	40,000	21,080	2,080	0,487







186,9	42,000	25,640	2,510	0,597
195,8	44,000	31,000	3,000	0,723
204,7	46,000	37,240	3,550	0,868
213,6	48,000	44,500	4,170	1,033
222,5	50,000	52,890	4,860	1,220
231,4	52,000		5,630	1,430
240,3	54,000		6,470	1,660
249,2	56,000		7,410	1,910
258,1	58,000		8,450	2,200
267,0	60,000		9,590	2,510
275,9	62,000		10,850	2,850
284,8	64,000		12,220	3,220
293,7	66,000		13,730	3,620
302,6	68,000		15,380	4,050
311,5	70,000		17,190	4,520
320,4	72,000		19,160	5,030
329,3	74,000		21,320	5,570
338,2	76,000		23,660	6,150
347,1	78,000		26,220	6,780
356,0	80,000		29,000	7,450
364,9	82,000		32,000	8,200
373,8	84,000		35,300	8,900
382,7	86,000		38,800	9,800
391,6	88,000		42,600	10,600
400,5	90,000		46,800	11,600

Fuente: Método diseño de pavimentos AASHTO 93.

Los resultados obtenidos de las tablas son:

Tabla N° 3.12 Factor equivalente de carga (LEF), configuración de ejes

Código	Tipos de vehículos	Figura	Configuración de ejes	
1	Automóviles y Vagonetas		1RS	1RS
2	Camionetas (hasta 2 Tn)		1RS	1RS
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)		1RS	1RS
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		1RS	1RD
5	Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		1RS	1RD
6	Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		1RS	1RD

7	Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		1RS	1RD
8	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		1RS	1RD
9	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		1RS	1RD
10	Camiones Semirremolque		1RS	2RD-3RD
11	Camiones remolque		1RS	2RD-1RD-1RD
12	Otros Vehículos		1RS	1RS

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.13 Factor equivalente de carga (LEF), ejes en toneladas

Tipos de vehículos	Eje delantero Tn	Eje trasero Tn			
	Eje Simple	Eje simple rueda simple	Eje simple rueda doble	Eje tandem rueda doble	Eje trídem rueda doble
Automóviles y vagonetas	0,9	0,9			
Camionetas	1,1	1,1			
Minibuses	1,2	1,2			
Microbuses	3,5		3,5		
Buses medianos	4		9		
Buses grandes	7			18	
Camiones medianos	5		9		
Camiones grandes (de 2 ejes)	7		11		
Camiones grandes (de 3 ejes)	7			18	
Camiones semirremolque	7			18	25
Camiones remolque	7		11	18	
Otros vehículos	0,5	0,5			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.14 Factor equivalente de carga (LEF), ejes en Kilonewton

Tipos de vehículos	Eje delantero Kn	Ejes trasero Kn			
	Eje Simple	Eje simple rueda simple	Eje Simple rueda doble	Eje Tándem rueda doble	Eje trídem rueda doble
Automóviles y vagonetas	8,8	8,8			
Camionetas	10,8	10,8			
Minibuses	11,8	11,8			
Microbuses	34,3		34,3		
Buses medianos	39,2		88,3		
Buses grandes	68,7			176,6	
Camiones medianos	49,1		88,3		
Camiones grandes (de 2 ejes)	68,7		107,9		
Camiones grandes (de 3 ejes)	68,7			176,6	
Camiones semirremolque	68,7			176,6	245,3
Camiones remolque	68,7		107,9	176,6	
Otros vehículos	4,4	4,4			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.15 Factor equivalente de carga (LEF), sumatoria total de los factores

Tipos de vehículos	Eje delantero	Ejes trasero				Total
	LEFs	LEFs	LEFs	LEFs	LEFs	
Automóviles y vagonetas	0,0002	0,0002				0,0004
Camionetas	0,001	0,001				0,001
Minibuses	0,001	0,001				0,002
Microbuses	0,031		0,031			0,062
Buses medianos	0,056		1,47			1,526
Buses grandes	0,549					0,549
Camiones medianos	0,14		1,47			1,61
Camiones grandes (de 2 ejes)	0,549		3,163			3,712
Camiones grandes (de 3 ejes)	0,549			2,021		2,57
Camiones semirremolque	0,549			2,021	1,805	4,375
Camiones remolque	0,549		3,163	2,021		5,733
Otros vehículos	0,00002	0,00002				0,00004

Fuente: Elaboración propia.













3.4.7 Procedimiento riguroso de ejes equivalentes

3.4.7.1 Procedimiento riguroso de ejes equivalentes para el subtramo Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Para el cálculo de ejes equivalentes mediante el método riguroso se procederá a realizar mediante los siguientes pasos:

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













Tabla N° 3.16 Tabla de volumen diario columna “A”, para el cálculo de ejes equivalentes para el subtramo Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tipo de vehículo		Volumen diario "A"
Automóviles y vagonetas		7859
Camionetas (hasta 2 Tn)		417
Minibuses (hasta 15 pasajeros)		108
Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		59
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		26
Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		6
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		83
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		8
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		11
Camiones semirremolque		3
Camiones remolque		0
Otros vehículos		1183

Fuente: Elaboración propia.

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 periodo de diseño considerado, cada tipo de vehículo puede tener una tasa de crecimiento distinta, ya que no todos los tipos de vehículos tienen que crecer a la misma tasa, según el Tabla N° 3.8







Tabla N° 3.17 Tabla de volumen diario columna "A" y factores de crecimiento "B" para el subtramo Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tipo de Vehículo		Volumen diario "A"	Factores de crecimiento "B"
Automóviles y vagonetas		7859	38,94
Camionetas (hasta 2 Tn)		417	34,23
Minibuses (hasta 15 pasajeros)		108	25,86
Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		59	27,09
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		26	29,53
Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		6	29,53
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		83	27,51
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		8	27,51
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		11	27,51
Camiones Semirremolque		3	29,16
Camiones remolque		0	29,16
Otros Vehículos		1183	39,39

Fuente: Elaboración propia.

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













Tabla N° 3.18 Tabla de volumen diario columna "A", factores de crecimiento "B" y tránsito de diseño "C", para para el subtramo Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tipo de vehículo		Volumen diario "A"	Factores de crecimiento "B"	Tránsito de diseño "C"
Automóviles y vagonetas		7859	38,94	111712631
Camionetas (hasta 2 Tn)		417	34,23	5214667
Minibuses (hasta 15 pasajeros)		108	25,86	1022547
Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		59	27,09	579155
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		26	29,53	281905
Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		6	29,53	59874
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		83	27,51	836705
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		8	27,51	83671
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		11	27,51	109237
Camiones semirremolque		3	29,16	32032
Camiones remolque		0	29,16	0
Otros vehículos		1183	39,39	17008061

Fuente: Elaboración propia.

En la columna "D" se coloca el factor de ESALs, que depende de cada peso y configuración o tipo de camión (ejes simples, tándem o trídem) conforme al Tabla N° 3.12 que facilita la determinación de ejes equivalentes para todo el tráfico.

Tabla N° 3.19 Tabla de volumen diario columna "A", factores de crecimiento "B", tránsito de diseño "C" y factor de equivalencia de carga "D", para el subtramo Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tipo de vehículo		Volumen diario "A"	Factores de crecimiento "B"	Tránsito de diseño "C"	Factor de equivalencia de carga "D"
Automóviles y vagonetas		7859	38,94	111712631	0,0004
Camionetas (hasta 2 Tn)		417	34,23	5214667	0,001
Minibuses (hasta 15 pasajeros)		108	25,86	1022547	0,002
Microbuses (hasta 21 pasajeros)		59	27,09	579155	0,062
Buses medianos (hasta 35 pasajeros)		26	29,53	281905	1,526
Buses grandes (más de 35 pasajeros)		6	29,53	59874	0,549
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t)		83	27,51	836705	1,610
Camiones grandes (de 2 ejes)		8	27,51	83671	3,712
Camiones grandes (de 3 ejes)		11	27,51	109237	2,570
Camiones semirremolque		3	29,16	32032	4,375
Camiones remolque		0	29,16	0	5,733
Otros vehículos		1183	39,39	17008061	0,0002

Fuente: Elaboración propia.

Los valores asumidos de índice de serviciabilidad final se los toma y el número estructural (SN para pavimentos flexibles o espesor de losa para pavimentos rígidos), conforme al Tabla N° 3.11, 3.12 y demás tablas, que hacen referencia al tipo de eje, tipo de pavimento en función del espesor asumido y de acuerdo a una serviciabilidad adoptada.

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

Tabla N° 3.20 Tabla de volumen diario columna "A", factores de crecimiento "B", tránsito de diseño "C", factor de equivalencia de carga "D" y ESAL diseño "E", para el subtramo Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tipo de vehículo	Volumen diario "A"	Factores de crecimiento "B"	Tránsito de diseño "C"	Factor de equivalencia de carga "D"	ESAL diseño "E"
Automóviles y vagonetas	7859	38,94	111712631	0,0004	3,94E+04
Camionetas	417	34,23	5214667	0,001	6,13E+03
Minibuses	108	25,86	1022547	0,002	1,64E+03
Microbuses	59	27,09	579155	0,062	3,57E+04
Buses medianos	26	29,53	281905	1,526	4,30E+05
Buses grandes	6	29,53	59874	0,549	3,29E+04
Camiones medianos	83	27,51	836705	1,61	1,35E+06
Camiones grandes	8	27,51	83671	3,712	3,11E+05
Camiones grandes	11	27,51	109237	2,57	2,81E+05
Camiones semirremolque	3	29,16	32032	4,375	1,40E+05
Camiones remolque	0	29,16	0	5,733	0,00E+00
Otros vehículos	1183	39,39	17008061	0,0002	3,00E+03
ESALs de diseño					2,63E+06

Fuente: Elaboración propia.

A este valor le afectamos el factor de distribución por dirección que para la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario es 0,486, el cual se realizó calculando el porcentaje de dirección de ida y vuelta de dicha Avenida, se encuentra en Anexo VI.

$$W18 = \text{ESALs de diseño} * \text{Factor de distribución por dirección}$$












Reemplazando los valores obtenidos:


$$W18 = 2,63E+06 * 0,486$$

$$W18 = 1,28E+06$$

3.4.7.2 Volumen diario a partir del TPH, columna “A”, para el cálculo de ejes equivalentes para el subtramo Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Tabla N° 3.21 Tabla de volumen diario, columna “A”, para el cálculo de ejes equivalentes para el subtramo Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Código	Tipo de vehículos	Figura	TPH promedio	TPD
1	Automóviles y vagonetas		855	7125
2	Camionetas (hasta 2 Tn)		45	375
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)		11	92
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		6	50
5	Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		2	17
6	Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		1	6
7	Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		6	50
8	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		1	8
9	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		1	8
10	Camiones semirremolque		0	3
11	Camiones remolque		0	0

12	Otros vehículos		124	1033
Total			1052	8767

Fuente: Elaboración propia.

3.4.8 Procedimiento riguroso de ejes equivalentes para el subtramo Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Tabla N° 3.22 Tabla de volumen diario columna "A", factores de crecimiento "B", tránsito de diseño "C", factor de equivalencia de carga "D" y ESAL diseño "E", para el subtramo Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Tipo de Vehículo	Volumen diario "A"	Factores de crecimiento "B"	Tránsito de diseño "C"	Factor de equivalencia de carga "D"	ESAL diseño "E"
Automóviles y vagonetas	7125	38,94	10127874 8	0,0004	3,57E+04
Camionetas	375	34,23	4685392	0,001	5,51E+03
Minibuses	92	25,86	865232	0,002	1,39E+03
Microbuses	50	27,09	494457	0,062	3,05E+04
Buses medianos	17	29,53	179621	1,526	2,74E+05
Buses grandes	6	29,53	59874	0,549	3,29E+04
Camiones medianos	50	27,51	502023	1,610	8,08E+05
Camiones grandes (2 ejes)	8	27,51	83671	3,712	3,11E+05
Camiones grandes (3 ejes)	8	27,51	83671	2,570	2,15E+05
Camiones semirremolque	3	29,16	32032	4,375	1,40E+05
Camiones remolque	0	29,16	0	5,733	0,00E+00
Otros vehículos	1033	39,39	14857923	0,0002	2,62E+03
ESALs de diseño					1,86E+06

Fuente: Elaboración propia.

Al valor ESALs de diseño calculado multiplicamos por el factor de distribución por dirección, que para el subtramo de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario es 0,524, el cual se realizó aforando la cantidad la cantidad de vehículos que circulan en la hora pico en todos los carriles, calculando el porcentaje de dirección de Norte-Sur y de Sur-Norte, la planilla de resultados se encuentra en Anexo VI.

$$W18 = \text{ESALs de diseño} * \text{Factor de distribución por dirección}$$

Reemplazando los valores obtenidos:









$$W18 = 1,86E+06 * 0,524$$





$$W18 = 9,73E+05$$

3.4.8.1 Volumen diario a partir del TPH, columna “A”, para el cálculo de ejes equivalentes para el subtramo Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Para el Cálculo del tráfico promedio diario (TPD), se dividirá el tráfico promedio horario dividido entre 12%, tomando en cuenta la situación más crítica.

Tabla N° 3.23 Tabla de volumen diario, columna “A”, para el cálculo de ejes equivalentes para el subtramo Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Código	Tipo de vehículos	Figura	TPH promedio	TPD
1	Automóviles y vagonetas		745	6208
2	Camionetas		34	283
3	Minibuses		6	50
4	Microbuses		4	33
5	Buses medianos		2	17
6	Buses grandes		4	33
7	Camiones medianos		8	67
8	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		2	17

9	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		2	17
10	Camiones semirremolque		0	3
11	Camiones remolque		0	0
12	Otros vehículos		154	1283
Total			961	8011

Fuente: Elaboración propia.

3.4.8.2 Procedimiento riguroso de ejes equivalentes para el subtramo Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Tabla N° 3.24 Tabla de volumen diario columna "A", factores de crecimiento "B", tránsito de diseño "C", factor de equivalencia de carga "D" y ESAL diseño "E", para el subtramo Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Tipo de vehículo	Volumen diario "A"	Factores de crecimiento "B"	Tránsito de diseño "C"	Factor de equivalencia de carga "D"	ESAL diseño "E"
Automóviles y vagonetas	6208	38,94	88248733	0,0004	3,11E+04
Camionetas	283	34,23	3540074	0,001	4,16E+03
Minibuses	50	25,86	471945	0,002	7,57E+02
Microbuses	33	27,09	329638	0,062	2,03E+04
Buses medianos	17	29,53	179621	1,526	2,74E+05
Buses grandes	33	29,53	359241	0,549	1,97E+05
Camiones medianos	67	27,51	669364	1,610	1,08E+06

Camiones grandes (de 2 ejes)	17	27,51	167341	3,712	6,21E+05
Camiones grandes (de 3 ejes)	17	27,51	167341	2,570	4,30E+05
Camiones semirremolque	3	29,16	32032	4,375	1,40E+05
Camiones remolque	0	29,16	0	5,733	0,00E+00
Otros vehículos	1283	39,39	18452581	0,0002	3,26E+03
ESALs de diseño					2,80E+06

Fuente: Elaboración propia.

Al valor ESALs de diseño calculado multiplicamos por el factor de distribución por dirección, que para el subtramo de la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte es 0,507, el cual se realizó aforando la cantidad la cantidad de vehículos que circulan en la hora pico en todos los carriles, calculando el porcentaje de dirección de Norte-Sur y de Sur-Norte, la planilla de resultados se encuentra en Anexo VI.

$$W18 = \text{ESALs de diseño} * \text{Factor de distribución por dirección}$$

Reemplazando los valores obtenidos:













$$W18 = 2,80E+06 * 0,507$$

$$W18 = 1,42E+06$$

3.4.8.3 Volumen diario a partir del TPH, columna "A", para el cálculo de ejes equivalentes para el subtramo Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Para el cálculo del tráfico promedio diario (TPD), se dividirá el tráfico promedio horario dividido entre 12%, tomando en cuenta la situación más crítica.

Tabla N° 3.25 Tabla de volumen diario, columna “A”, para el cálculo de ejes equivalentes para el subtramo Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Código	Tipo de vehículos	Figura	TPH promedio	TPD
1	Automóviles y vagonetas		843	7025
2	Camionetas		32	267
3	Minibuses		8	67
4	Microbuses		6	50
5	Buses medianos		3	26
6	Buses grandes		1	6
7	Camiones medianos		10	83
8	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		1	8
9	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		1	11
10	Camiones semirremolque		0	3
11	Camiones remolque		0	0
12	Otros vehículos		142	1183
Total			1047	8728

Fuente: Elaboración propia.

3.4.8.4 Procedimiento riguroso de ejes equivalentes para el subtramo Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Tabla N° 3.26 Tabla de volumen diario columna "A", factores de crecimiento "B", tránsito de diseño "C", factor de equivalencia de carga "D" y ESAL diseño "E", para el subtramo Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Tipo de vehículo	Volumen diario "A"	Factores de crecimiento "B"	Tránsito de diseño "C"	Factor de equivalencia de carga "D"	ESAL diseño "E"
Automóviles y vagonetas	7025	38,94	99857292	0,0004	3,52E+04
Camionetas	267	34,23	3331834	0,001	3,92E+03
Minibuses	67	25,86	629260	0,002	1,01E+03
Microbuses	50	27,09	494457	0,062	3,05E+04
Buses medianos	26	29,53	281905	1,526	4,30E+05
Buses grandes	6	29,53	59874	0,549	3,29E+04
Camiones medianos	83	27,51	836705	1,610	1,35E+06
Camiones grandes (2 ejes)	8	27,51	83671	3,712	3,11E+05
Camiones grandes (3 ejes)	11	27,51	109237	2,570	2,81E+05
Camiones semirremolque	3	29,16	32032	4,375	1,40E+05
Camiones remolque	0	29,16	0	5,733	0,00E+00
Otros vehículos	1183	39,39	17008061	0,0002	3,00E+03
ESALs de diseño					2,62E+06

Fuente: Elaboración propia.

Al valor ESALs de diseño calculado multiplicamos por el factor de distribución por dirección, que para el subtramo de la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón es 0,512, el cual se realizó aforando la cantidad la cantidad de vehículos que circulan en la hora pico en todos los carriles, calculando el porcentaje de dirección de Norte-Sur y de Sur-Norte, la planilla de resultados se encuentra en Anexo VI.

$$W18 = \text{ESALs de diseño} * \text{Factor de distribución por dirección}$$

Reemplazando los valores obtenidos:









$$W18 = 2,63E+06 * 0,512$$





$$W18 = 1,34E+06$$

3.4.8.5 Volumen diario a partir del TPH, columna “A”, para el cálculo de ejes equivalentes para el subtramo Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Para el cálculo del tráfico promedio diario (TPD), se dividirá el tráfico promedio horario dividido entre 12%, tomando en cuenta la situación más crítica.

Tabla N° 3.27 Tabla de volumen diario, columna “A”, para el cálculo de ejes equivalentes para el subtramo Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Código	Tipo de vehículos	Figura	TPH promedio	TPD
1	Automóviles y vagonetas		795	6625
2	Camionetas		45	375
3	Minibuses		10	83
4	Microbuses		6	50
5	Buses medianos		3	26
6	Buses grandes		0	0
7	Camiones medianos		6	50
8	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		2	17

9	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		1	11
10	Camiones semirremolque		0	3
11	Camiones remolque		0	0
12	Otros vehículos		142	1183
Total			1011	8423

Fuente: Elaboración propia.

3.4.8.6 Procedimiento riguroso de ejes equivalentes para el subtramo Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Tabla N° 3.28 Tabla de volumen Diario columna "A", factores de crecimiento "B", tránsito de diseño "C", factor de equivalencia de carga "D" y ESAL diseño "E", para el subtramo Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Tipo de vehículo	Volumen diario "A"	Factores de crecimiento "B"	Tránsito de diseño "C"	Factor de equivalencia de carga "D"	ESAL diseño "E"
Automóviles y vagonetas	6625	38,94	94171467	0,0004	3,32E+04
Camionetas	375	34,23	4685392	0,001	5,51E+03
Minibuses	83	25,86	786575	0,002	1,26E+03
Microbuses	50	27,09	494457	0,062	3,05E+04
Buses medianos	26	29,53	281905	1,526	4,30E+05
Buses grandes	0	29,53	0	0,549	0,00E+00
Camiones medianos	50	27,51	502023	1,610	8,08E+05
Camiones grandes (de 2 ejes)	17	27,51	167341	3,712	6,21E+05
Camiones grandes (de 3 ejes)	11	27,51	109237	2,570	2,81E+05

Camiones semirremolque	3	29,16	32032	4,375	1,40E+05
Camiones remolque	0	29,16	0	5,733	0,00E+00
Otros vehículos	1183	39,39	17008061	0,0002	3,00E+03
ESALs de diseño					2,35E+06

Fuente: Elaboración propia.

Al valor ESALs de diseño calculado multiplicamos por el factor de distribución por dirección, que para el subtramo de la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida la Paz es 0,528, el cual se realizó aforando la cantidad la cantidad de vehículos que circulan en la hora pico en todos los carriles, calculando el porcentaje de dirección de Norte-Sur y de Sur-Norte, la planilla de resultados se encuentra en Anexo VI.

$$W18 = \text{ESALs de diseño} * \text{Factor de distribución por dirección}$$

$$W18 = 2,63E+06 * 0,528$$

$$W18 = 1,24E+06$$

3.4.9 Procedimiento simplificado de ejes equivalentes

3.4.9.1 Procedimiento simplificado de ejes equivalentes para el subtramo Av.

Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

El Procedimiento simplificado de ejes equivalentes sirve para hacer una rápida estimación del número de ESALs, este procedimiento se llama simplificado porque usa un factor de camión promedio en lugar de factores de camión para cada tipo de vehículo. El resultado no es muy exacto y se debería usar solo como una primera aproximación.

La fórmula a usar es:

$$W18 = TPDA * \%CP * GF * DD * TF * 365$$

Donde:

W18= Número de ejes equivalentes

TPDA= Tránsito promedio diario anual inicial

%CP= Porcentaje de camiones pesados (clase 5 o más según FHWA)

GF= Factor de crecimiento (Growth factor) que tiene en cuenta el crecimiento en volumen de camiones en factor de camiones.

$$GF = ((1+gtv)*(1+gtf))-1$$

Donde:

gtv= Crecimiento del volumen de tránsito

gtf= Crecimiento en el factor de camión

DD= Factor de distribución direccional para camiones (en tanto por uno)













TF= Factor de camiones (ESALs/camiones)

Tránsito promedio diario anual inicial (TPDA). - El tránsito promedio anual inicial calculamos multiplicando el tráfico promedio diario (TPD) por 365 días del año.

El tráfico promedio diario (TPD) ya lo tenemos calculado anteriormente de acuerdo a la tabla 3.45 el tránsito promedio diario para el Subtramo de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario es 9763 Vehículos.

Porcentaje de camiones pesados (%CP). - Para el cálculo de %CP se procederá a calcular el porcentaje de camiones pesados (clase 5 o más según FHWA) y luego se los sumará dichos porcentajes

Tabla N° 3.29 Porcentaje de camiones pesados (%cp) para el Subtramo de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tipo de vehículos	Figura	TPD	% TPD
Automóviles y vagonetas		7859	80,49
Camionetas (hasta 2 Tn)		417	4,27
Minibuses (hasta 15 pasajeros)		108	1,11
Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		59	0,60
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		26	0,27
Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		6	0,06
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		83	0,85
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		8	0,09
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		11	0,11
Camiones semirremolque		3	0,03
Camiones remolque		0	0,00
Otros vehículos		1183	12,12
Total		9763	100,00

Fuente: Elaboración propia.

La sumatoria de estos valores nos da por resultado 1,081.

Factor de crecimiento (Growth factor) (GF). - Para el cálculo de este factor se obtendrá del promedio de todos los factores de crecimiento de la Tabla N° 3.38 valores que fueron calculados anteriormente.

Tabla N° 3.30 Factor de crecimiento promedio

Tipo de vehículo	Factor de crecimiento
Automóviles y vagonetas	38,94
Camionetas (2tn)	34,23
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	25,86
Microbuses (hasta 21pjs;2 ejes)	27,09
Buses medianos (hasta 35pjs;2ejes)	29,53
Buses grandes (más de 35pjs;3ejes)	29,53
Camiones medianos (de 2,5 a 10tn;2ejes)	27,51
Camiones grandes (más de 10tn; 2ejes)	27,51
Camiones grandes (más de 10tn;3ejes)	27,51
Camiones semirremolque	29,16
Camiones remolque	29,16
Otros vehículos	39,39
Promedio factor de crecimiento	30,45

Fuente: Elaboración propia.

Factor de distribución direccional para camiones (DD). - En general es 0,5 es decir que, del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debe considerarse en un censo de tránsito.

Aunque el factor DD generalmente es de 0,5 (50%) para la mayor parte de vías vehiculares, hay casos en los que puede moverse más peso en una dirección que en otra.

Así, el lado con los vehículos más pesados, deberá ser diseñado para un gran número de unidades ESAL. La experiencia ha demostrado que DD puede variar de (0,3 a 0,7) dependiendo de cuál dirección está "cargada" y cual está "descargada" puede utilizarse 0,6.

El factor dirección calculamos para la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario es 0,486, el cual se realizó calculando el porcentaje de dirección de ida y vuelta de dicha Avenida, se encuentra en Anexo VI.

Factor de camiones (TF). - Para su cálculo se debe calcular el factor de equivalencia de carga de cada tipo de camión de acuerdo a la tabla 3.11 ingresando con su valor en Kn para poder obtener su factor en el eje delantero y eje trasero, para después proceder a sumar todos los valores para después dividir con el número de camiones que circulan por dicho subtramo.

Tabla N° 3.31 Factor de equivalencia de carga en camiones

Tipo de vehículos	Configuración de ejes		Eje delantero Kn	Ejes traseros Kn			Eje delantero Kn	Ejes traseros Kn			Total
			Eje simple	Eje simple rueda doble	Eje tándem rueda doble	Eje trídem rueda doble	LEFs	LEFs	LEFs	LEFs	
Camiones medianos	1RS	1RD	49,100	88,300			0,140	1,470			1,610
Camiones grandes (2 ejes)	1RS	1RD	68,700	107,900			0,549	3,163			3,712
Camiones grandes (3 ejes)	1RS	1RD	68,700		176,600		0,549		2,021		2,570
Camiones Semirremolque	1RS	2RD-RD	68,700		176,600	245,300	0,549		2,021	1,805	4,375
Camiones Remolque	1RS	2RD-1RD-1RD	68,700	107,900	176,600		0,549	3,163	2,021		5,733
Sumatoria ESALs totales											18,000

Fuente: Elaboración propia.

Es la relación que define la cantidad de ESALs que posee cada tipo de camión

$$TF = (\text{Nro ESALs totales}) / (\text{Nro de camiones})$$

El valor TF es $256/9763 = 0,026$

Al obtener todos estos valores podemos reemplazar en la ecuación y calcular los ejes equivalentes.

$$W18 = TPDA * \%CP * GF * DD * TF * 365$$

$$W18 = 9763 * 1,081 * 30,45 * 0,486 * 0,026 * 365$$

$$W18 = 1,50E+06$$

3.4.9.2 Procedimiento simplificado de ejes equivalentes para el subtramo Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

El Procedimiento simplificado de ejes equivalentes sirve para hacer una rápida estimación del número de ESALs, este procedimiento se llama simplificado porque usa un factor de camión promedio en lugar de factores de camión para cada tipo de vehículo. El resultado no es muy exacto y se debería usar solo como una primera aproximación.

La fórmula a usar es:

$$W18 = TPDA * \%CP * GF * DD * TF * 365$$

Donde:

W18= Número de ejes equivalentes

TPDA= Tránsito promedio diario anual inicial

%CP= Porcentaje de camiones pesados (clase 5 o más según FHWA)

GF= Factor de crecimiento (Growth factor) que tiene en cuenta el crecimiento en volumen de camiones en factor de camiones.

$$GF = ((1 + gtv) * (1 + gtf)) - 1$$

Donde:

gtv= Crecimiento del volumen de tránsito

gtf= Crecimiento en el factor de camión

DD= Factor de distribución direccional para camiones (en tanto por uno)













TF= Factor de camiones (ESALs/camiones)

Tránsito promedio diario anual inicial (TPDA). - El tránsito promedio anual inicial calculamos multiplicando el tráfico promedio diario (TPD) por 365 días del año.

El tráfico promedio diario (TPD) ya lo tenemos calculado anteriormente de acuerdo a la tabla 3.45 el tránsito promedio diario para el Subtramo de subtramo Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín es 8767 Vehículos.

Porcentaje de camiones pesados (%CP). - Para el cálculo de %CP se procederá a calcular el porcentaje de camiones pesados (clase 5 o más según FHWA) y luego se los sumará dichos porcentajes

Tabla N° 3.32 Porcentaje de camiones pesados (%CP) para el Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Tipo de vehículos	Figura	TPD	% TPD
Automóviles y vagonetas		7125	81,27
Camionetas (hasta 2 Tn)		375	4,28
Minibuses (hasta 15 pasajeros)		92	1,05
Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		50	0,57
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		17	0,10
Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		6	0,06
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		50	0,57
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		8	0,10
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		8	0,10
Camiones semirremolque		3	0,03
Camiones remolque		0	0,00
Otros vehículos		1033	11,79
Total		8767	100,00

Fuente: Elaboración propia.

La sumatoria de estos valores nos da por resultado 1,195.

Factor de crecimiento (Growth factor GF). - Para el cálculo de este factor utilizaremos el valore anteriormente en la Tabla N° 3.8 ya que es el mismo factor de crecimiento.

Factor de distribución direccional para camiones (DD). - En general es 0,5 es decir que, del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debe considerarse en un censo de tránsito.

El factor dirección calculamos para la Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín es 0,524, el cual se realizó calculando el porcentaje de dirección de ida y vuelta de dicha Avenida, se encuentra en Anexo VI.

Factor de camiones (TF). - De la Tabla N° 3.32 sumamos la cantidad de camiones y de la Tabla N° 3.31 obtenemos el valor de los Nro ESALs totales.

Luego reemplazamos los valores en la ecuación para calcular el TF.

$$TF = (\text{Nro ESALs totales}) / (\text{Nro de camiones})$$

El valor TF es $180/8767 = 0,021$

Al obtener todos estos valores podemos reemplazar en la ecuación y calcular los ESAL

$$W18 = TPDA * \%CP * GF * DD * TF * 365$$

$$W18 = 8767 * 1,195 * 30,45 * 0,524 * 0,021 * 365$$

$$W18 = 1,26E+06$$

3.4.9.3 Procedimiento simplificado de ejes equivalentes para el subtramo Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

El Procedimiento simplificado de ejes equivalentes sirve para hacer una rápida estimación del número de ESALs, este procedimiento se llama simplificado porque usa un factor de camión promedio en lugar de factores de camión para cada tipo de vehículo. El resultado no es muy exacto y se debería usar solo como una primera aproximación.

La fórmula a usar es:

$$W18 = TPDA * \%CP * GF * DD * TF * 365$$

Donde:

W18= Número de ejes equivalentes

TPDA= Tránsito promedio diario anual inicial

%CP= Porcentaje de camiones pesados (clase 5 o más según FHWA)

GF= Factor de crecimiento (Growth factor) que tiene en cuenta el crecimiento en volumen de camiones en factor de camiones.

$$GF = ((1+gtv)^n * (1+gcf)) - 1$$

Donde:

gtv= Crecimiento del volumen de tránsito

gcf= Crecimiento en el factor de camión

DD= Factor de distribución direccional para camiones (en tanto por uno)













TF= Factor de camiones (ESALs/camiones)

Tránsito promedio diario anual inicial (TPDA). - El tránsito promedio anual inicial calculamos multiplicando el tráfico promedio diario (TPD) por 365 días del año.

El tráfico promedio diario (TPD) ya lo tenemos calculado anteriormente de acuerdo a la tabla 3.45 el tránsito promedio diario para el Subtramo de subtramo Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte es 8011 Vehículos.

Porcentaje de camiones pesados (%CP). - Para el cálculo de %CP se procederá a calcular el porcentaje de camiones pesados (clase 5 o más según FHWA) y luego se los sumará dichos porcentajes

Tabla N° 3.33 Porcentaje de camiones pesados (%CP) para el Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Tipo de vehículos	Figura	TPD	% TPD
Automóviles y vagonetas		6208	77,49
Camionetas (hasta 2 Tn)		283	3,54
Minibuses (hasta 15 pasajeros)		50	0,62
Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		33	0,42
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		17	0,21
Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		33	0,42
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		67	0,83
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		17	0,21
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		17	0,21
Camiones semirremolque		3	0,04
Camiones remolque		0	0,00
Otros vehículos		1283	16,02
Total		8011	100,00

Fuente: Elaboración propia.

La sumatoria de estos valores nos da por resultado 0,74

Factor de crecimiento (Growth factor GF). - Para el cálculo de este factor utilizaremos el valor anteriormente en la Tabla N° 3.8 ya que es el mismo factor de crecimiento.

Factor de distribución direccional para camiones (DD). - En general es 0,5 es decir que, del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debe considerarse en un censo de tránsito.

Aunque el factor DD generalmente es de 0,5 (50%) para la mayor parte de vías vehiculares, hay casos en los que puede moverse más peso en una dirección que en otra. Así, el lado con los vehículos más pesados, deberá ser diseñado para un gran número de unidades ESAL. La experiencia ha demostrado que DD puede variar de (0,3 a 0,7) dependiendo de cuál dirección está "cargada" y cual está "descargada" puede utilizarse 0,6.

El factor dirección calculamos para la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte es 0,507, el cual se realizó calculando el porcentaje de dirección de ida y vuelta de dicha Avenida, se encuentra en Anexo VI.

Factor de camiones (TF). - De la Tabla N° 3.33 sumamos la cantidad de camiones y de la Tabla N° 3.31 obtenemos el valor de los Nro. ESALs totales.

Luego reemplazamos los valores en la ecuación para calcular el TF.

$$TF = (\text{Nro. ESALs totales}) / (\text{Nro. de camiones})$$

El valor TF es $274/8011 = 0,034$

Al obtener todos estos valores podemos reemplazar en la ecuación y calcular los ESAL

$$W18 = TPDA * \%CP * GF * DD * TF * 365$$

$$W18 = 8011 * 0,74 * 30,45 * 0,507 * 0,034 * 365$$

$$W18 = 1,13E+06$$

3.4.9.4 Procedimiento simplificado de ejes equivalentes para el subtramo Av.

Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

El Procedimiento simplificado de ejes equivalentes sirve para hacer una rápida estimación del número de ESALs, este procedimiento se llama simplificado porque usa un factor de camión promedio en lugar de factores de camión para cada tipo de vehículo. El resultado no es muy exacto y se debería usar solo como una primera aproximación.

La fórmula a usar es:

$$W18= TPDA*\%CP*GF*DD*TF*365$$

Donde:

W18= Número de ejes equivalentes

TPDA= Tránsito promedio diario anual inicial

%CP= Porcentaje de camiones pesados (clase 5 o más según FHWA)

GF= Factor de crecimiento (Growth factor) que tiene en cuenta el crecimiento en volumen de camiones en factor de camiones.

$$GF= ((1+gtv)*(1+gtf))-1$$

Donde:

gtv= Crecimiento del volumen de tránsito

gtf= Crecimiento en el factor de camión

DD= Factor de distribución direccional para camiones (en tanto por uno)






TF= Factor de camiones (ESALs/camiones)








Tránsito promedio diario anual inicial (TPDA). - El tránsito promedio anual inicial calculamos multiplicando el tráfico promedio diario (TPD) por 365 días del año.

El tráfico promedio diario (TPD) ya lo tenemos calculado anteriormente de acuerdo a la tabla 3.45 el tránsito promedio diario para el Subtramo de subtramo Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte es 8728 Vehículos.

Porcentaje de camiones pesados (%CP). - Para el cálculo de %CP se procederá a calcular el porcentaje de camiones pesados (clase 5 o más según FHWA) y luego se los sumará dichos porcentajes

Tabla N° 3.34 Porcentaje de camiones pesados (%CP) para el Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Tipo de vehículos	Figura	TPD	% TPD
Automóviles y vagonetas		7025	80,48
Camionetas (hasta 2 Tn)		267	3,06
Minibuses (hasta 15 pasajeros)		67	0,76
Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		50	0,57
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		26	0,30

Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		6	0,06
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		83	0,95
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		8	0,10
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		11	0,12
Camiones semirremolque		3	0,03
Camiones remolque		0	0,00
Otros vehículos		1183	13,55
Total		8728	100,00

Fuente: Elaboración propia

La sumatoria de estos valores nos da por resultado 0,850.

Factor de crecimiento (Growth factor GF). - Para el cálculo de este factor utilizaremos el valore anteriormente en la Tabla N° 3.8 ya que es el mismo factor de crecimiento.

Factor de distribución direccional para camiones (DD). - En general es 0,5 es decir que, del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debe considerarse en un censo de tránsito.

Aunque el factor DD generalmente es de 0,5 (50%) para la mayor parte de vías vehiculares, hay casos en los que puede moverse más peso en una dirección que en otra. Así, el lado con los vehículos más pesados, deberá ser diseñado para un gran número de unidades ESAL. La experiencia ha demostrado que DD puede variar de (0,3 a 0,7) dependiendo de cuál dirección está "cargada" y cual está "descargada" puede utilizarse 0,6.

El factor dirección calculamos para la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón es 0,512, el cual se realizó calculando el porcentaje de dirección de ida y vuelta de dicha Avenida, se encuentra en Anexo VI.

Factor de camiones (TF). - De la Tabla N° 3.34 sumamos la cantidad de camiones y de la Tabla N° 3.31 obtenemos el valor de los Nro ESALs totales.

Luego reemplazamos los valores en la ecuación para calcular el TF.

$$TF = (\text{Nro ESALs totales}) / (\text{Nro de camiones})$$

El valor TF es $256/8728 = 0,029$

Al obtener todos estos valores podemos reemplazar en la ecuación y calcular los ESAL

$$W18= TPDA*\%CP*GF*DD*TF*365$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$W18= 8728*0,840*30,45*0,512*0,029*365$$

$$W18= 1,23E+06$$

3.4.9.5 Procedimiento simplificado de ejes equivalentes para el subtramo Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

El Procedimiento simplificado de ejes equivalentes sirve para hacer una rápida estimación del número de ESALs, este procedimiento se llama simplificado porque usa un factor de camión promedio en lugar de factores de camión para cada tipo de vehículo. El resultado no es muy exacto y se debería usar solo como una primera aproximación.

La fórmula a usar es:

$$W18= TPDA*\%CP*GF*DD*TF*365$$

Donde:

W18= Número de ejes equivalentes

TPDA= Tránsito promedio diario anual inicial

%CP= Porcentaje de camiones pesados (clase 5 o más según FHWA)

GF= Factor de crecimiento (Growth factor) que tiene en cuenta el crecimiento en volumen de camiones en factor de camiones.

$$GF= ((1+gtv)*(1+gtf))-1$$

Donde:

gtv= Crecimiento del volumen de tránsito

gtf= Crecimiento en el factor de camión

DD= Factor de distribución direccional para camiones (en tanto por uno)













TF= Factor de camiones (ESALs/camiones)

Tránsito promedio diario anual inicial (TPDA). - El tránsito promedio anual inicial calculamos multiplicando el tráfico promedio diario (TPD) por 365 días del año.

El tráfico promedio diario (TPD) ya lo tenemos calculado anteriormente de acuerdo a la tabla 3.45 el tránsito promedio diario para el Subtramo de Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz es 8423 Vehículos.

Porcentaje de camiones pesados (%CP). - Para el cálculo de %CP se procederá a calcular el porcentaje de camiones pesados (clase 5 o más según FHWA) y luego se los sumará dichos porcentajes

Tabla N° 3.35 Porcentaje de camiones pesados (%CP) para el Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Tipo de vehículos	Figura	TPD	% TPD
Automóviles y vagonetas		6625	78,65
Camionetas (hasta 2 Tn)		375	4,45
Minibuses (hasta 15 pasajeros)		83	0,99
Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		50	0,59
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		26	0,31
Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		0	0,00
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		50	0,59
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		17	0,20
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		11	0,13
Camiones semirremolque		3	0,04
Camiones remolque		0	0,00
Otros vehículos		1183	14,04
Total		8423	100,00

Fuente: Elaboración propia.

La sumatoria de estos valores nos da por resultado 0,906.

Factor de crecimiento (Growth factor GF). - Para el cálculo de este factor utilizaremos el valore anteriormente en la Tabla N° 3.8 ya que es el mismo factor de crecimiento.

Factor de distribución direccional para camiones (DD). - En general es 0,5 es decir que, del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero en algunos

casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debe considerarse en un censo de tránsito.

Aunque el factor DD generalmente es de 0,5 (50%) para la mayor parte de vías vehiculares, hay casos en los que puede moverse más peso en una dirección que en otra. Así, el lado con los vehículos más pesados, deberá ser diseñado para un gran número de unidades ESAL. La experiencia ha demostrado que DD puede variar de (0,3 a 0,7) dependiendo de cuál dirección está "cargada" y cual está "descargada" puede utilizarse 0,6.

El factor dirección calculamos para la Avenida Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz es 0,528, el cual se realizó calculando el porcentaje de dirección de ida y vuelta de dicha Avenida, se encuentra en Anexo VI.

Factor de camiones (TF). - De la Tabla N° 3.35 sumamos la cantidad de camiones y de la Tabla N° 3.31 obtenemos el valor de los Nro ESALs totales.

Luego reemplazamos los valores en la ecuación para calcular el TF.

$$TF = (\text{Nro ESALs totales}) / (\text{Nro de camiones})$$

El valor TF es $230/8423 = 0,027$

Al obtener todos estos valores podemos reemplazar en la ecuación y calcular los ESAL

$$W18 = TPDA * \%CP * GF * DD * TF * 365$$

$$W18 = 8423 * 0,91 * 30,45 * 0,528 * 0,027 * 365$$

$$W18 = 1,22E+06$$

3.4.10 Aplicación de cálculo de ejes equivalentes W18 de pavimento flexible por el método AASHTO 93, mediante el software Ecuación AASHTO 93

Para el desarrollo de cálculo de número de ejes equivalentes (W18) para pavimento flexible por el método de AASHTO 93, tenemos en cuenta que con el software calcula el W18 partir de los datos como la Serviciabilidad inicial y final, confiabilidad, desviación estándar, módulo de resiliente de la capa, SN (número estructural)

Los valores del número estructural se calculará posteriormente de manera que nos permita poder verificar la cantidad de ejes equivalentes necesarios para la obtención de estos números estructurales.

Figura 3.12 Interfaz software Ecuación AASHTO 93

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It contains several sections for data entry:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu for 'Reliability (R)' and a text box for 'So'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' and 'PSI final'.
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' followed by 'psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'. The first two are for rigid pavements.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. A text box for 'W18 =' is present.
- Número Estructural:** A text box for 'SN ='.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Al verificar los datos en el Software Ecuación AASHTO 93, se obtienen el valor del número estructural de los vehículos más representativos.

Paso 1: Se debe elegir el tipo de pavimento a diseñar en nuestro caso, el diseño del pavimento flexible.

Figura 3.13 Ecuación AASHTO, pavimento flexible

This screenshot is identical to Figure 3.12, but with the 'Pavimento flexible' radio button selected. The 'W18 =' and 'SN =' text boxes are empty.

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 2: Se debe seleccionar la confiabilidad (R), La escogida por el diseño es del 90%
Es equivalente a un fráctil del $Z_R = -1,282$

Figura 3.14 Ecuación AASHTO, R= 90%

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 3: Al verificar los valores de desviación estándar al sistema, el índice de servicio inicial, índice de servicio final y tránsito, procedemos a colocar en el software. Para los valores de este diseño son $S_o = 0.49$, $Psi\ Inicial = 4.0$, $Psi\ Final = 2.5$ Y $SN =$ depende de cada tipo de vehículo

Figura 3.15 Ecuación AASHTO, $S_o = 0.49$, $psi\ inicial = 4.2$, $psi\ final = 2.5$ y $SN = 1.65$

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 4: se le introduce los valores en el programa ya anteriormente calculados, los cuales son el nivel de serviciabilidad inicial y final, módulo resiliente de la capa y número estructural con el que se encuentra diseñando.

Figura 3.16 Ecuación AASHTO, $S_o = 0.49$, psi inicial= 4.2, psi final= 2.5 y SN= 1.65

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 5: Se procede a calcular los ejes equivalentes de cada subtramo estudiado a partir del número estructural.

Figura 3.17 Ecuación AASHTO, $S_o = 0.49$, psi inicial= 4.2, psi final= 2.5 y SN= 1.65

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

3.4.10.1 Cálculo del número ejes equivalentes W18 proyectados al 2042 del subtramo Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Figura 3.18 Análisis de cálculo del número ejes equivalentes W18 proyectados al 2042 del subtramo Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Fuente: Elaboración propia.

Para el valor de SN de 3,11 plg se obtuvo el número de ejes equivalentes W18= 990936

3.4.10.2 Cálculo del número ejes equivalentes W18 proyectados al 2042 del subtramo Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Figura 3.19 Análisis de cálculo del número ejes equivalentes W18 proyectados al 2042 del subtramo Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Fuente: Elaboración propia.

Para el valor de SN de 3,25 plg se obtuvo el número de ejes equivalentes W18= 1293164

3.4.11 Aplicación de cálculo de ejes equivalentes W18 de pavimento rígido por el método AASHTO 93, mediante el software Ecuación AASHTO 93

Para el desarrollo de cálculo de número de ejes equivalentes (W18) para pavimento rígido por el método de AASHTO 93, tenemos en cuenta que necesitamos los siguientes datos, la Serviciabilidad inicial y final, confiabilidad, desviación estándar, módulo de elasticidad del concreto, módulo de rotura del concreto, coeficiente de transmisión de carga, coeficiente de drenaje, espesor en pulgadas

Figura 3.20 Interfaz software Ecuación AASHTO 93

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections: 'Tipo de Pavimento' with radio buttons for 'Pavimento flexible' and 'Pavimento rígido' (selected); 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' with a dropdown for 'Reliability (R)' and a text box for 'So'; 'Serviciabilidad inicial y final' with text boxes for 'PSI inicial' and 'PSI final'; 'Módulo de reacción de la subrasante' with a text box for 'k' and the unit 'pci'; 'Información adicional para pavimentos rígidos' with text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'; 'Tipo de Análisis' with radio buttons for 'Calcular D' (selected) and 'Calcular W18', and a text box for 'W18 ='; 'Espesor de losa (plg)' with a text box for 'D ='. At the bottom are 'Calcular' and 'Salir' buttons.

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Al verificar los datos en el Software Ecuación AASHTO 93, se obtienen el valor del Espesor de la Losa de los vehículos más representativos.

Figura 3.21 Ecuación AASHTO, pavimento rígido

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections: 'Tipo de Pavimento' with radio buttons for 'Pavimento flexible' and 'Pavimento rígido' (selected); 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' with a dropdown for 'Reliability (R)' and a text box for 'So'; 'Serviciabilidad inicial y final' with text boxes for 'PSI inicial' and 'PSI final'; 'Módulo de reacción de la subrasante' with a text box for 'k' and the unit 'pci'; 'Información adicional para pavimentos rígidos' with text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'; 'Tipo de Análisis' with radio buttons for 'Calcular D' (selected) and 'Calcular W18', and a text box for 'W18 ='; 'Espesor de losa (plg)' with a text box for 'D ='. At the bottom are 'Calcular' and 'Salir' buttons.

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 1: Se debe elegir el tipo de pavimento a diseñar en nuestro caso, el diseño del pavimento rígido.

Paso 2: Se debe seleccionar la confiabilidad (R), La escogida por el diseño es del 90% Es equivalente a un fráctil del $Z_R = -1,282$

Figura 3.22 Ecuación AASHTO, R= 90%

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 3: Al verificar los valores de desviación estándar al sistema, el índice de servicio inicial, índice de servicio final y tránsito, procedemos a colocar en el software.

Para los valores de este diseño son $S_o = 0.45$, $\text{Psi Inicial} = 4.0$, $\text{Psi Final} = 2.5$ y $W18 =$ depende de cada tipo de vehículo

Figura 3.23 Ecuación AASHTO, $S_o = 0.45$, psi inicial= 4.0, psi final= 2.5 y $W18 = 2.8E8$

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 4: se le introduce los valores en el programa ya anteriormente calculados, los cuales son el nivel de Serviciabilidad inicial y final, módulo de elasticidad del concreto, módulo de rotura del concreto, coeficiente de transmisión de carga, coeficiente de drenaje, número de ejes equivalentes (W18)

Figura 3.24 Ecuación AASHTO, $S_o = 0.45$, $\text{psi inicial} = 4.0$, $\text{psi final} = 2.5$ y $W18 = 2.8E8$

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 5: Se procede a calcular el número ejes equivalentes W18 de cada tipo de vehículo cambiando sus ejes equivalentes.

Figura 3.25 Ecuación AASHTO, $S_o = 0.45$, $\text{psi inicial} = 4.2$, $\text{psi final} = 2.5$ y $D = 2$ plg

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

3.6.2.1 Cálculo del número ejes equivalentes W18 actuales y de los vehículos más representativos de la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Figura 3.26 Análisis de cálculo del número ejes equivalentes W18 proyectados al 2042 del subtramo Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Fuente: Elaboración propia.

Para el valor de D de 2 plg se obtuvo el número de ejes equivalentes W18= 1170254

3.6.3.1 Cálculo del número ejes equivalentes W18 proyectados al 2042 del subtramo Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Figura 3.27 Análisis de cálculo del número ejes equivalentes W18 proyectados al 2042 del subtramo Av. Circunvalación entre Av. Froilán Tejerina y la calle Colón

Fuente: Elaboración propia.

Para el valor de D de 2 plg se obtuvo el número de ejes equivalentes W18= 1170254

3.6.4.1 Cálculo del número ejes equivalentes W18 proyectados al 2042 del subtramo Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Figura 3.28 Análisis de cálculo del número ejes equivalentes W18 proyectados al 2042 del subtramo Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Fuente: Elaboración propia.

Para el valor de D de 2 plg se obtuvo el número de ejes equivalentes W18= 1170254

3.1 Comparación de valores de número de ejes equivalentes mediante el método riguroso, simplificado y mediante el software Ecuación AASHTO 93

Tabla N° 3.36 Comparación de valores de número de ejes equivalentes mediante el método riguroso, simplificado y mediante el software Ecuación AASHTO 93

Método	Av. Víctor Paz entre pte. Bolívar y pte. Bicentenario	Av. Víctor Paz entre pte. Bicentenario y pte. San Martín	Av. Circunva. entre la Av. Froilán hasta llegar a la ruta del Norte	Av. Circunva. entre Av. Froilán y la calle Colón	Av. Circunva. entre la calle Colón y Av. La Paz
Método riguroso	1,28E+06	9,73E+05	1,42E+06	1,34E+06	1,24E+06
Método simplificado	1,13E+06	9,70E+05	1,30E+06	1,28E+06	1,17E+06
Método E. AASHTO 93	1,29E+06	9,91E+05	1,17E+06	1,17E+06	1,17E+06

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en la tabla anterior los valores de los ejes equivalentes calculados para pavimentos flexibles los valores mayores fueron mediante el software Ecuación AASHTO 93 debido a que el programa automáticamente redondea el número estructural al valor inmediato superior, por este motivo es que los ejes equivalentes nos resultaron mayores que el método simplificado y el método riguroso. Sin embargo en pavimentos rígidos mediante el método riguroso son los mayores a los calculados mediante el método simplificado y el software Ecuación AASHTO 93, ya que el software Ecuación AASHTO 93 calcula el espesor de la Losa redondeando al inmediato superior sin embargo el rango de espesor de losa es más amplio que el espesor de las capas de los pavimentos flexibles, es por esta razón que los valores de ejes equivalentes calculados en el software Ecuación AASHTO 93 en pavimentos rígidos son menores a los calculados mediante el método riguroso.

Por motivos académicos analizaremos el método riguroso debido a que podemos observar que se calcula de forma específica todos los factores en cada tipo de vehículo. Para su desarrollo se procederá a calcular el eje equivalente acumulado para obtener los ESALs de cada tipo de vehículo para poder realizar un análisis de resultados y observar la incidencia que tiene cada vehículo en cada subtramo.

3.4.11.1 Cálculo de ejes equivalentes parciales mediante el método riguroso en el subtramo de la Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Para el cálculo del eje equivalente acumulado (w_{18}'), multiplicamos el tránsito promedio diario con el factor equivalente de carga y sumamos el total de cada vehículo:

Ejemplo automóviles y vagonetas:

$$w_{18}' = 7859 * 0,0004 * 38,94 * 365$$

$$w_{18}' = 38527.$$













A este valor le afectamos el factor dirección para la Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario es 0,486, el cual se realizó calculando el porcentaje de dirección de ida y vuelta de dicha Avenida, se encuentra en Anexo VI.

Ejemplo automóviles y vagonetas:

$$w_{18}' = 38527 * 0,486$$

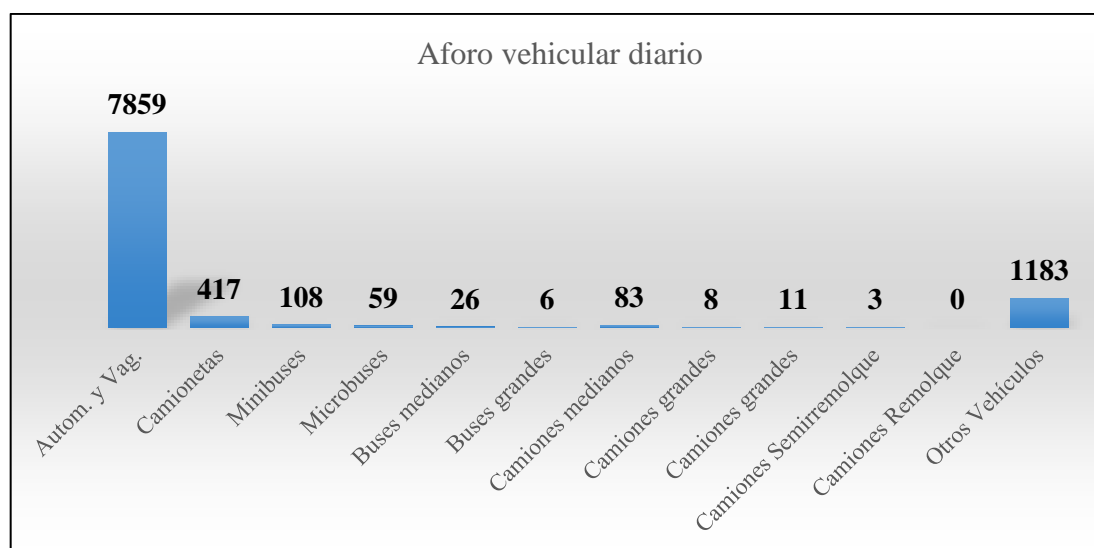
$$w_{18}' = 19155$$

Tabla N° 3.37 Ejes equivalentes parciales de la Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tipo de vehículos	Figura	W18'
Automóviles y vagonetas		19155
Camionetas (hasta 2 Tn)		2979
Minibuses (hasta 15 pasajeros)		797
Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		17346
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		209103
Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		15979
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		654847
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		150929
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		136439
Camiones semirremolque		68107
Camiones remolque		0
Otros vehículos		1458
Total de W18'		1277139

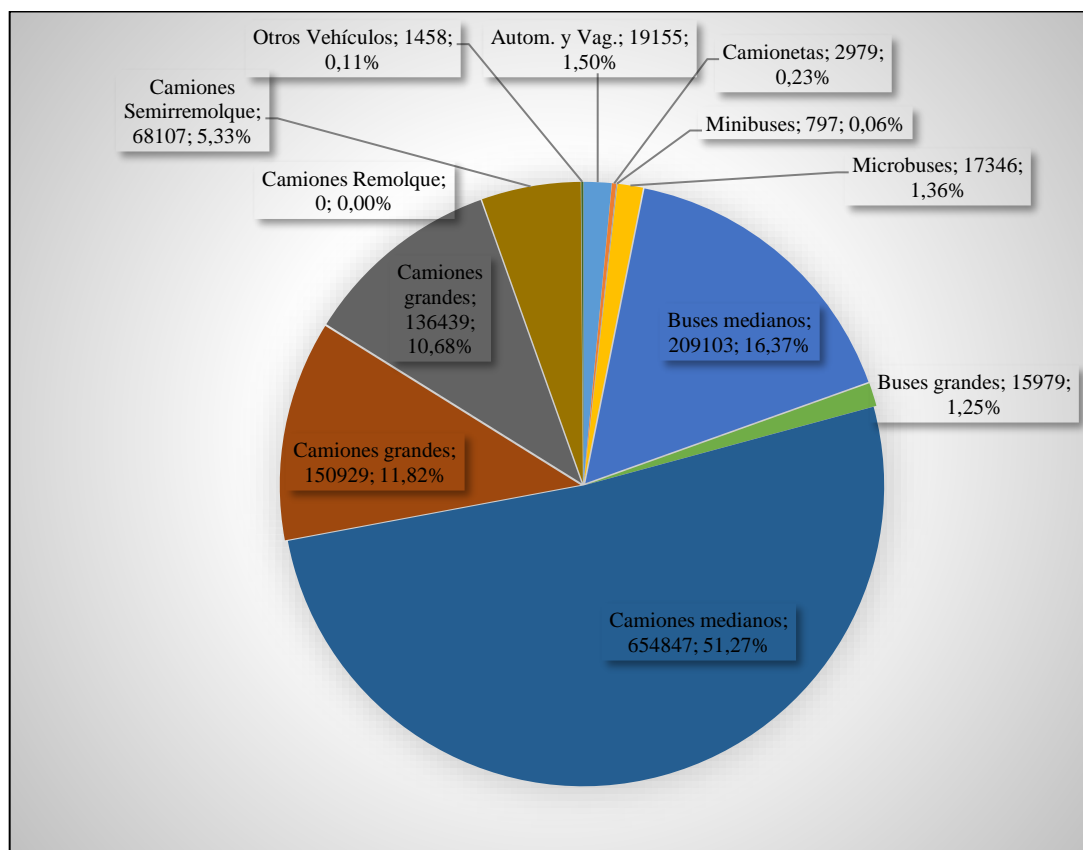
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.29 Gráfica de aforo vehicular diario en la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.30 Análisis de resultados porcentuales de ejes equivalentes de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario



Fuente: Elaboración propia.

3.4.11.1.1 Análisis de resultados porcentuales en la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Estos valores nos indican el grado de influencia e impacto que tienen los diferentes tipos de vehículos que transitan por dicho subtramo.

Tal y como se observa en la Figura 3.12 la cantidad porcentual de ejes equivalentes de camiones medianos es de 51,27 % siendo este tipo de vehículo el más representativo y los vehículos con menor representación porcentual son las camionetas, minibuses, camiones remolques y otros vehículos.

Entonces podemos afirmar que a pesar que la mayor cantidad de vehículos son los livianos estos no son de mayor representatividad en el conteo de ejes equivalentes debido a que el número de ejes equivalentes estandarizado varía considerablemente debido al factor de equivalencia de carga siendo este determinante al momento de realizar el cálculo de los

ESALs, donde podemos observar que el mayor número de ejes equivalentes se encuentra en los vehículos pesados.

Entonces podemos asegurar que no necesariamente el tipo de vehículo con mayor cantidad de vehículos que pasa por el subtramo es el que tenga el mayor número de Ejes equivalentes, sino más bien el tipo de vehículo cuyo factor de equivalencia de carga es el mayor y tiene una cantidad considerable de vehículos que circula por el subtramo es el que tendrá mayor cantidad de ejes equivalentes y por tanto es el que mayor afecta al pavimento.

3.4.11.2 Cálculo de ejes equivalentes parciales mediante el método riguroso en el subtramo de la Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Para el cálculo del eje equivalente acumulado ($w_{18'}$), multiplicamos el tránsito promedio diario con el factor equivalente de carga y sumamos el total de cada vehículo:

Ejemplo automóviles y vagonetas:

$$w_{18'} = 7125 * 0,0004 * 38,94 * 365$$

$$w_{18'} = 35733.$$




A este valor le afectamos el factor dirección para Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín es 0,524, el cual se realizó calculando el porcentaje de dirección de ida y vuelta de dicha Avenida, se encuentra en Anexo VI.










Ejemplo automóviles y vagonetas:

$$w_{18'} = 35733 * 0,524$$

$$w_{18'} = 18724$$

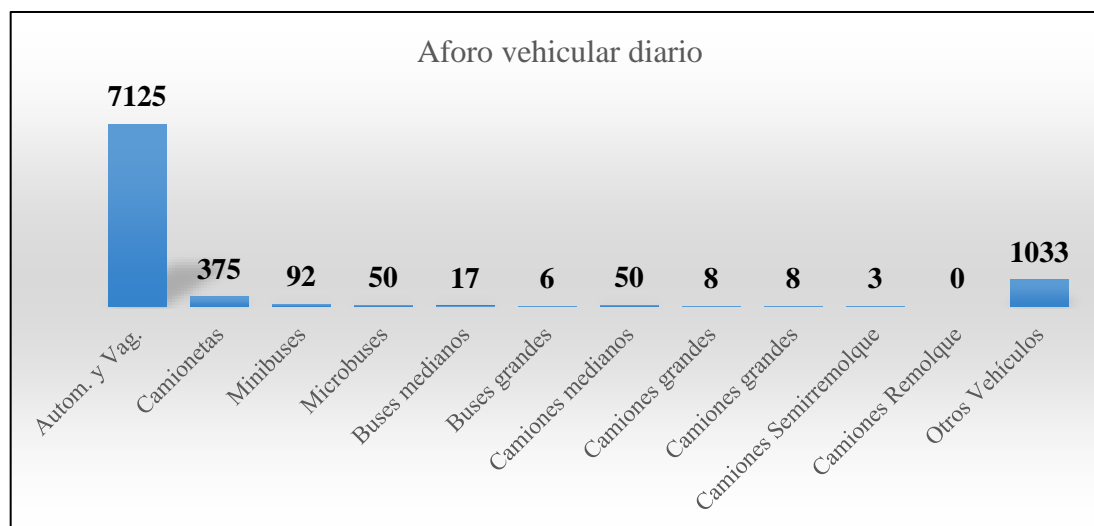
Tabla N° 3.38 Ejes equivalentes parciales de la Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Tipo de vehículos	Figura	W18'
Automóviles y vagonetas		18724
Camionetas (hasta 2 Tn)		2886
Minibuses (hasta 15 pasajeros)		728

Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		15967
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		143651
Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		17228
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		423630
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		162730
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		112678
Camiones semirremolque		73432
Camiones remolque		0
Otros vehículos		1373
Total de W18'		973027

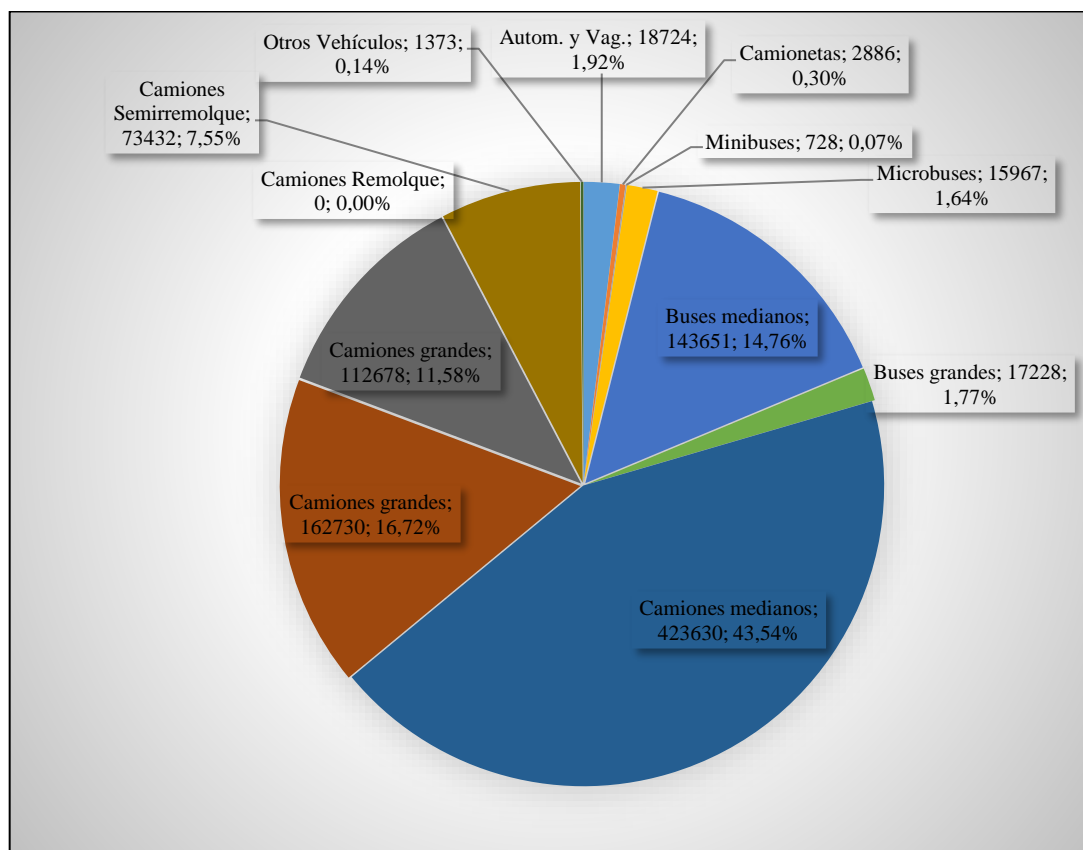
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.31 Gráfica de aforo vehicular diario en la Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.32 Análisis de resultados porcentuales de ejes equivalentes de la Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín



Fuente: Elaboración propia.

3.4.11.2.1 Análisis de resultados porcentuales en la Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Estos valores nos indican el grado de influencia e impacto que tienen los diferentes tipos de vehículos que transitan por dicho subtramo.

Tal y como se observa en la Figura 3.12 la cantidad porcentual de ejes equivalentes de camiones medianos es de 43,54 % siendo este tipo de vehículo el más representativo y los vehículos con menor representación porcentual son las camionetas, minibuses, camiones remolques y otros vehículos.

Entonces podemos afirmar que a pesar que la mayor cantidad de vehículos son los livianos estos no son de mayor representatividad en el conteo de ejes equivalentes debido a que el número de ejes equivalentes estandarizado varía considerablemente debido al factor de equivalencia de carga siendo este determinante al momento de realizar el cálculo de los

ESALs, donde podemos observar que el mayor número de ejes equivalentes se encuentra en los vehículos pesados.

Entonces podemos asegurar que no necesariamente el tipo de vehículo con mayor cantidad de vehículos que pasa por el subtramo es el que tenga el mayor número de Ejes equivalentes, sino más bien el tipo de vehículo cuyo factor de equivalencia de carga es el mayor y tiene una cantidad considerable de vehículos que circula por el subtramo es el que tendrá mayor cantidad de ejes equivalentes y por tanto es el que mayor afecta al pavimento.

3.4.11.3 Cálculo de ejes equivalentes parciales mediante el método riguroso en el subtramo Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Para el cálculo del eje equivalente acumulado (w18'), multiplicamos el tránsito promedio diario con el factor equivalente de carga y sumamos el total de cada vehículo:

Ejemplo automóviles y vagonetas:

$$w18' = 6208 * 0,0004 * 38,94 * 365$$

$$w18' = 31135.$$




A este valor le afectamos el factor dirección para la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte es 0,507, el cual se realizó calculando el porcentaje de dirección de ida y vuelta de dicha Avenida, se encuentra en Anexo VI.










Ejemplo automóviles y vagonetas:

$$w18' = 31135 * 0,507$$

$$w18' = 15785$$

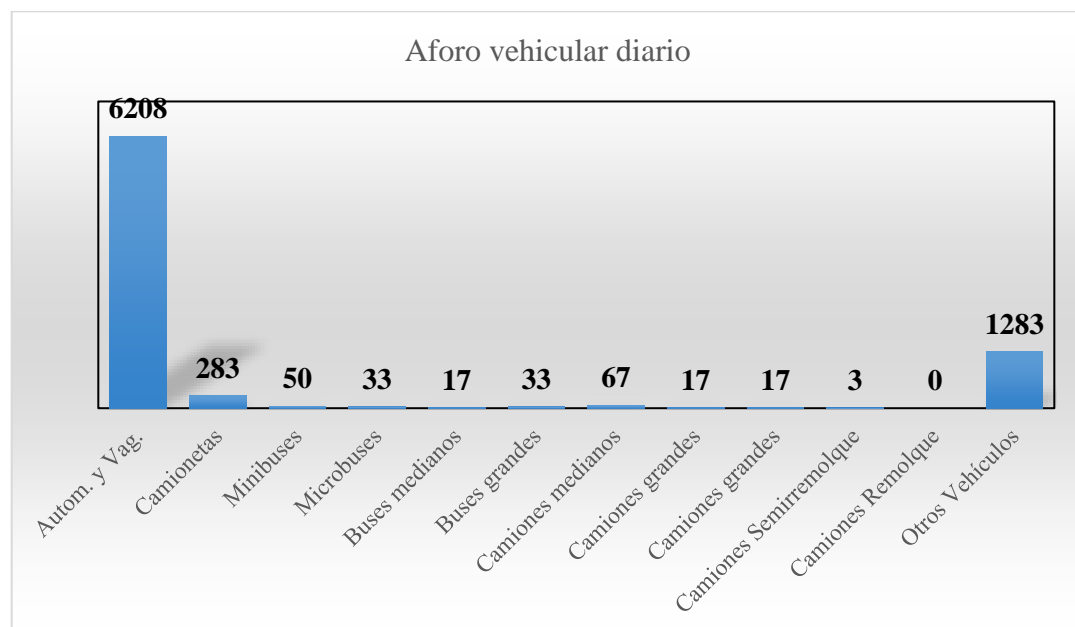
Tabla N° 3.39 Ejes equivalentes parciales de la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Tipo de vehículos	Figura	W18'
Automóviles y vagonetas		15785
Camionetas (hasta 2 Tn)		2110
Minibuses (hasta 15 pasajeros)		384

Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		10299
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		138991
Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		100015
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		546514
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		314901
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		218045
Camiones semirremolque		71050
Camiones remolque		0
Otros vehículos		1650
Total de W18'		1419745

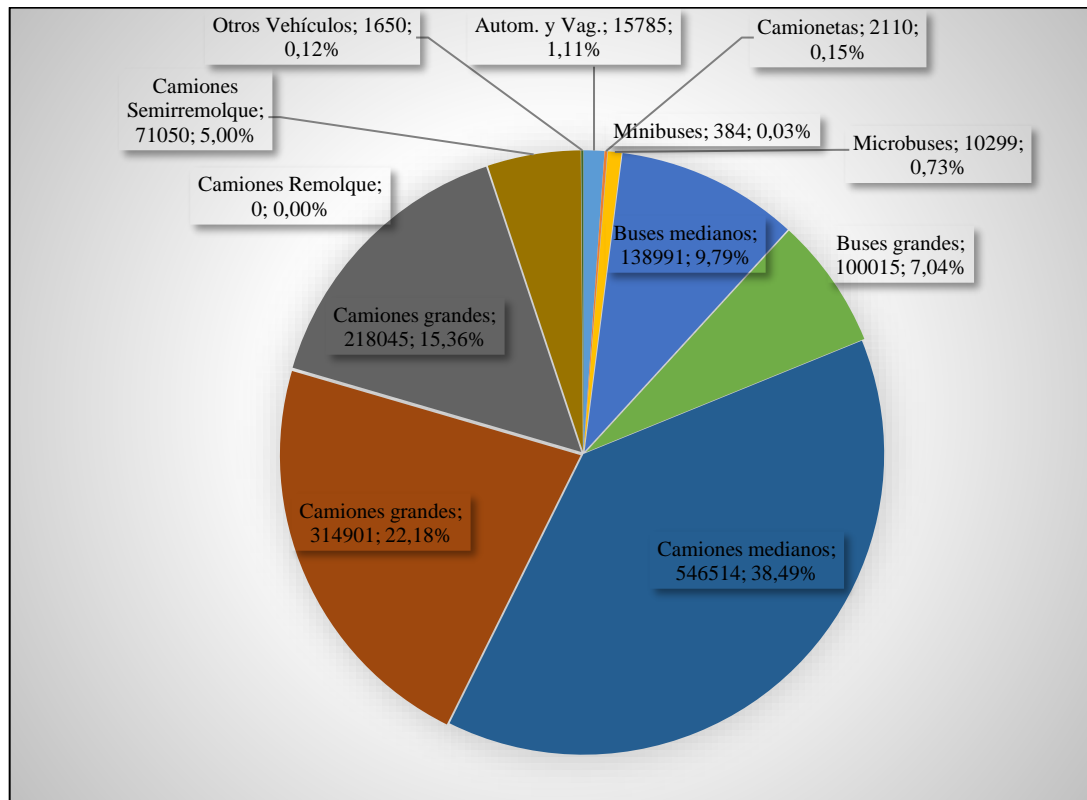
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.33 Gráfica de aforo vehicular diario en la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.34 Análisis de resultados porcentuales de ejes equivalentes de la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte



Fuente: Elaboración propia.

3.4.11.3.1 Análisis de resultados porcentuales en la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Estos valores nos indican el grado de influencia e impacto que tienen los diferentes tipos de vehículos que transitan por dicho subtramo.

Tal y como se observa en la Figura 3.14 la cantidad porcentual de ejes equivalentes de camiones medianos es de 38,49% y camiones grandes es de 22,18% siendo estos tipos de vehículo el más representativo y los vehículos con menor representación porcentual son las camionetas, minibuses, camiones remolques y otros vehículos.

Entonces podemos afirmar que a pesar que la mayor cantidad de vehículos son los livianos estos no son de mayor representatividad en el conteo de ejes equivalentes debido a que el número de ejes equivalentes estandarizado varía considerablemente debido al factor de equivalencia de carga siendo este determinante al momento de realizar el cálculo de los

ESALs, donde podemos observar que el mayor número de ejes equivalentes se encuentra en los vehículos pesados.

Entonces podemos asegurar que no necesariamente el tipo de vehículo con mayor cantidad de vehículos que pasa por el subtramo es el que tenga el mayor número de Ejes equivalentes, sino más bien el tipo de vehículo cuyo factor de equivalencia de carga es el mayor y tiene una cantidad considerable de vehículos que circula por el subtramo es el que tendrá mayor cantidad de ejes equivalentes y por tanto es el que mayor afecta al pavimento.

3.4.11.4 Cálculo de ejes equivalentes parciales mediante el método riguroso en el subtramo de la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Para el cálculo del eje equivalente acumulado (W18'), multiplicamos el tránsito promedio diario con el factor equivalente de carga y sumamos el total de cada vehículo:

Ejemplo automóviles y vagonetas:

$$W18' = 7025 * 0,0004 * 38,94 * 365$$

$$W18' = 35231.$$




A este valor le afectamos el factor dirección para la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón es 0,512, el cual se realizó calculando el porcentaje de dirección de ida y vuelta de dicha Avenida, se encuentra en Anexo VI.










Ejemplo automóviles y vagonetas:

$$W18' = 35231 * 0,512$$

$$W18' = 18038$$

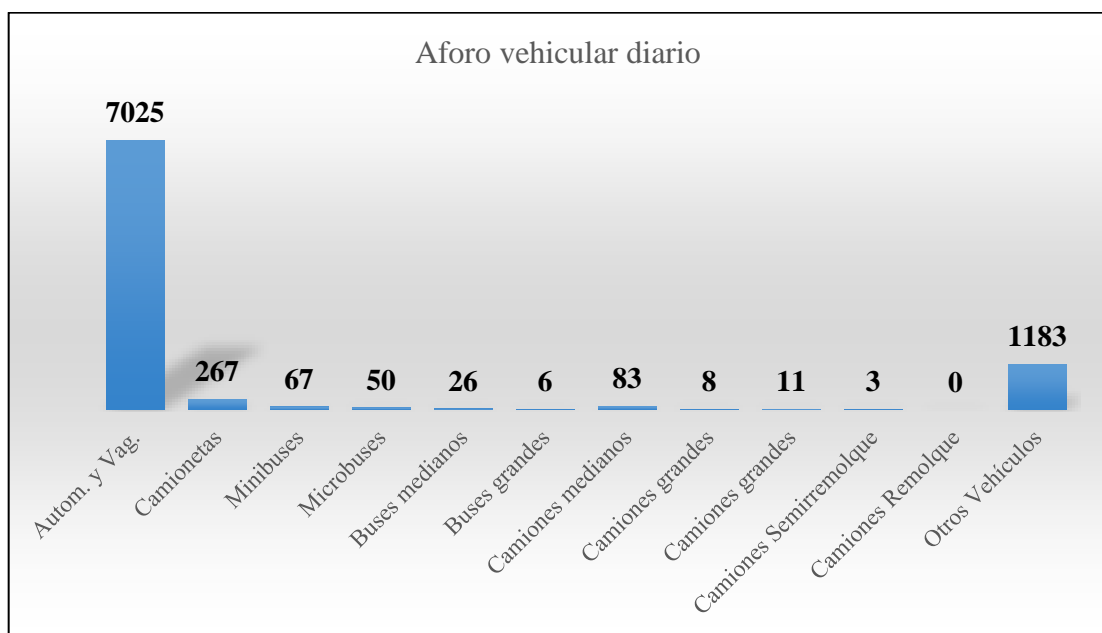
Tabla N° 3.40 Ejes equivalentes parciales de la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Tipo de vehículos	Figura	W18'
Automóviles y vagonetas		18038
Camionetas (hasta 2 Tn)		2005
Minibuses (hasta 15 pasajeros)		517

Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		15602
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		220289
Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		16834
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		689880
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		159003
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		143738
Camiones semirremolque		71751
Camiones remolque		0
Otros vehículos		1536
Total de W18'		1339193

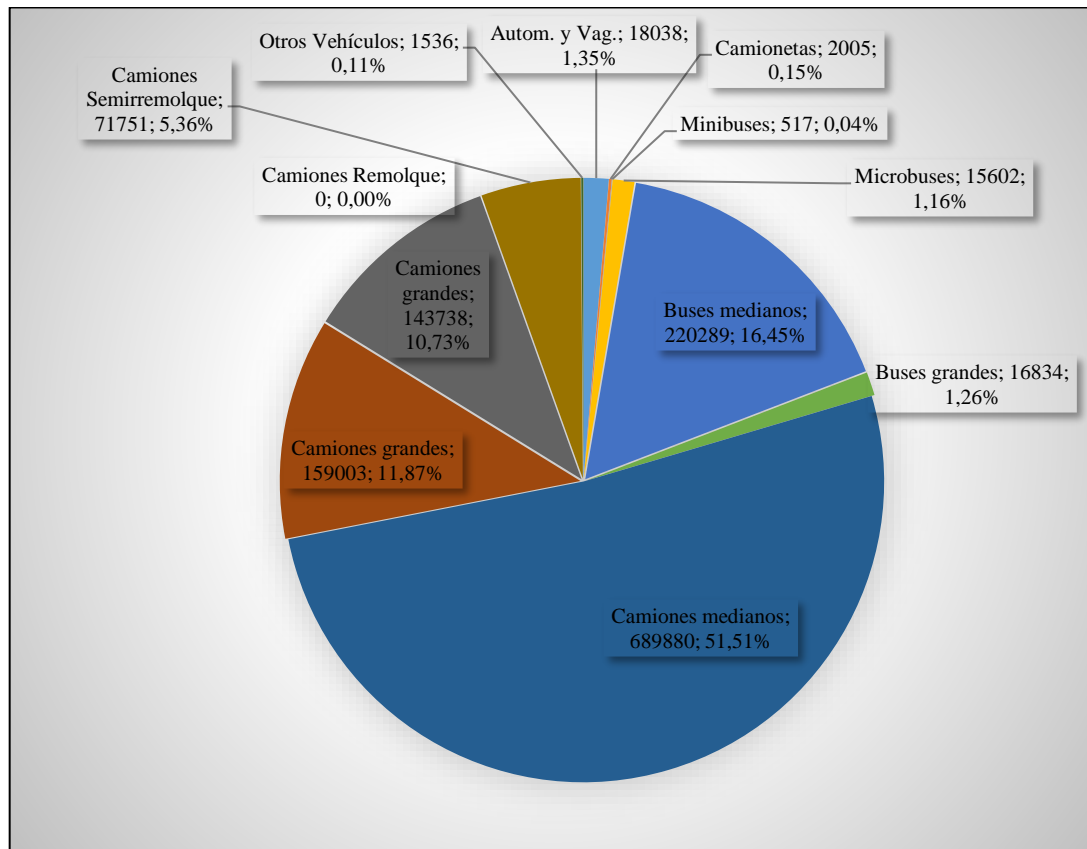
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.35 Gráfica de aforo vehicular diario en la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.36 Análisis de resultados porcentuales de ejes equivalentes de la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón



Fuente: Elaboración propia.

3.4.11.4.1 Análisis de resultados porcentuales en la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Estos valores nos indican el grado de influencia e impacto que tienen los diferentes tipos de vehículos que transitan por dicho subtramo.

Tal y como se observa en la Figura 3.15 la cantidad porcentual de ejes equivalentes de camiones medianos es de 51,51% y camiones grandes es de 11,87% siendo estos tipos de vehículo el más representativo y los vehículos con menor representación porcentual son las camionetas, minibuses, camiones remolques y otros vehículos.

Entonces podemos afirmar que a pesar que la mayor cantidad de vehículos son los livianos estos no son de mayor representatividad en el conteo de ejes equivalentes debido a que el número de ejes equivalentes estandarizado varía considerablemente debido al factor de equivalencia de carga siendo este determinante al momento de realizar el cálculo de los

ESALs, donde podemos observar que el mayor número de ejes equivalentes se encuentra en los vehículos pesados.

Entonces podemos asegurar que no necesariamente el tipo de vehículo con mayor cantidad de vehículos que pasa por el subtramo es el que tenga el mayor número de Ejes equivalentes, sino más bien el tipo de vehículo cuyo factor de equivalencia de carga es el mayor y tiene una cantidad considerable de vehículos que circula por el subtramo es el que tendrá mayor cantidad de ejes equivalentes y por tanto es el que mayor afecta al pavimento.

3.4.11.5 Cálculo de ejes equivalentes parciales mediante el método riguroso en el subtramo de la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Para el cálculo del eje equivalente acumulado (w18'), multiplicamos el tránsito promedio diario con el factor equivalente de carga y sumamos el total de cada vehículo:

Ejemplo automóviles y vagonetas:

$$W18' = 6625 * 0,0004 * 38,94 * 365$$

$$W18' = 33150.$$




A este valor le afectamos el factor dirección para la Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario es 0,528, el cual se realizó calculando el porcentaje de dirección de ida y vuelta de dicha Avenida, se encuentra en Anexo VI.










Ejemplo automóviles y vagonetas:

$$W18' = 33150 * 0,528$$

$$W18' = 17543$$

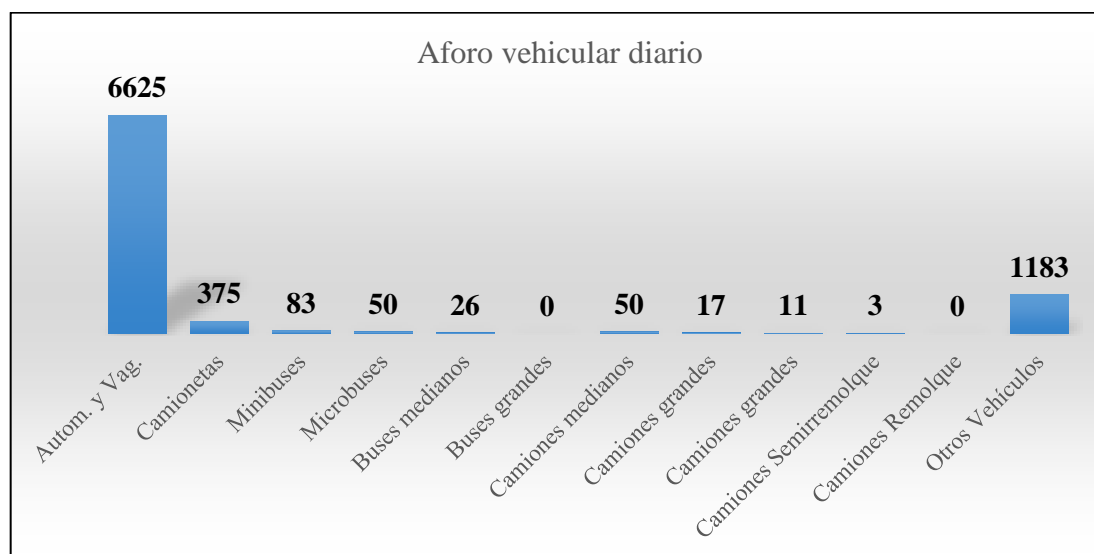
Tabla N° 3.41 Ejes equivalentes parciales de la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Tipo de vehículos	Figura	W18'
Automóviles y vagonetas		17543
Camionetas (hasta 2 Tn)		2908
Minibuses (hasta 15 pasajeros)		666

Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)		16089
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)		227173
Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)		0
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)		426863
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)		327944
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)		148230
Camiones semirremolque		73993
Camiones remolque		0
Otros vehículos		1584
Total de W18'		1242994

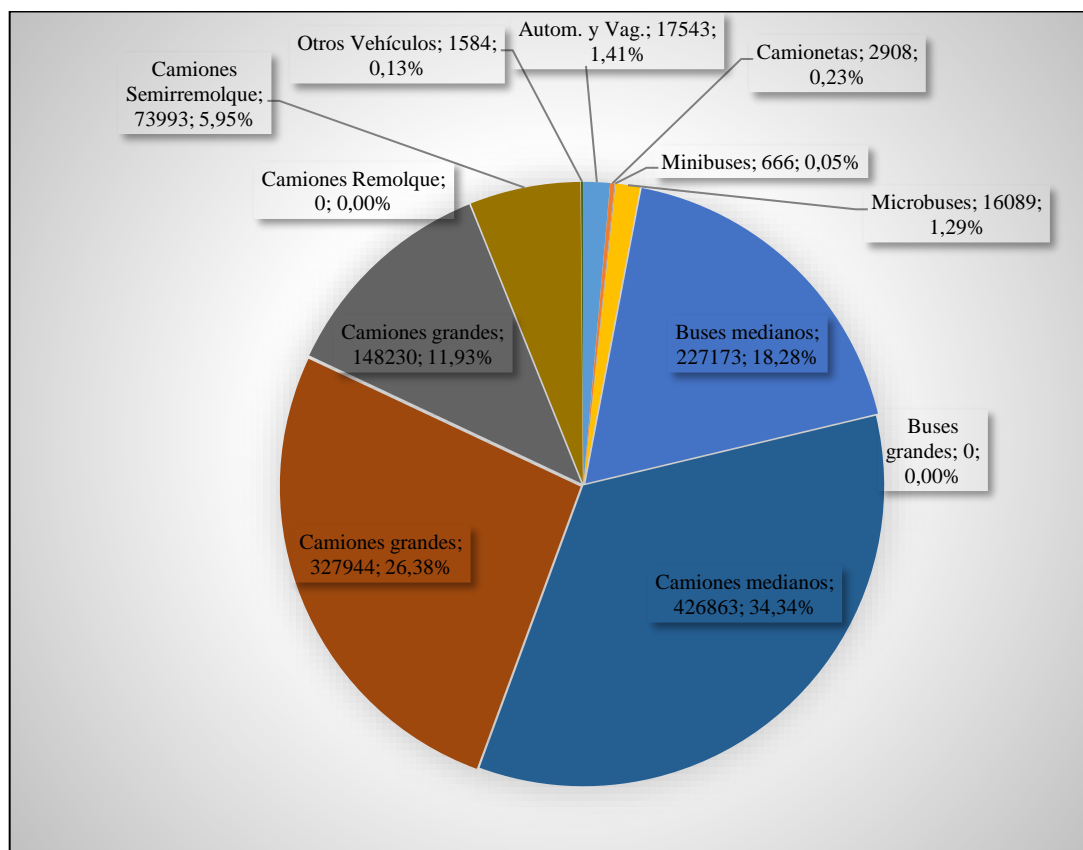
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.37 Gráfica de aforo vehicular diario en la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.38 Análisis de resultados porcentuales de ejes equivalentes de la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz



Fuente: Elaboración propia.

3.4.11.5.1 Análisis de resultados porcentuales en la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Estos valores nos indican el grado de influencia e impacto que tienen los diferentes tipos de vehículos que transitan por dicho subtramo.

Tal y como se observa en la Figura 3.16 la cantidad porcentual de ejes equivalentes de camiones medianos es de 34,34% y camiones grandes es de 26,38% siendo estos tipos de vehículo el más representativo y los vehículos con menor representación porcentual son las camionetas, minibuses, camiones remolques y otros vehículos.

Entonces podemos afirmar que a pesar que la mayor cantidad de vehículos son los livianos estos no son de mayor representatividad en el conteo de ejes equivalentes debido a que el número de ejes equivalentes estandarizado varía considerablemente debido al factor de equivalencia de carga siendo este determinante al momento de realizar el cálculo de los

ESALs, donde podemos observar que el mayor número de ejes equivalentes se encuentra en los vehículos pesados.

Entonces podemos asegurar que no necesariamente el tipo de vehículo con mayor cantidad de vehículos que pasa por el subtramo es el que tenga el mayor número de Ejes equivalentes, sino más bien el tipo de vehículo cuyo factor de equivalencia de carga es el mayor y tiene una cantidad considerable de vehículos que circula por el subtramo es el que tendrá mayor cantidad de ejes equivalentes y por tanto es el que mayor afecta al pavimento.

3.4.12 Resumen de ejes equivalentes de todos los pavimentos estudiados

Tabla N° 3.42 Resumen de ejes equivalentes de todos los pavimentos estudiados

Pavimento flexible	W18	TPD
Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario	1277139	9763
Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín	973027	8767
Pavimento rígido	W18	TPD
Avenida Circunvalación entre la Avenida Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte	1419745	8011
Avenida Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón	1339193	8728
Avenida Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz	1242994	8423






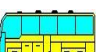






Fuente: Elaboración propia.

3.5 DETERMINACIÓN DEL EFECTO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

3.5.1 Procedimiento de Cálculo







Para el cálculo del efecto de la carga como ejes equivalentes se procedió a realizar la simulación de cada tipo de vehículo como si este sería el único que pasaría por dicho subtramo, asumiendo que el tránsito promedio diario absoluto sería el mismo para todos.

Tabla N° 3.43 Cálculo del efecto de la carga como de ejes equivalentes por tipo de vehículo de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tipo de vehículo		Índice de crec.	Factor de crec.	T.P.D.	Factor de equivalencia de carga	Factor de dirección	Ejes equivalentes
E1		6,53	38,94	9763	0,0004	0,486	2,38E+04
E2		5,33	34,23	9763	0,001	0,486	6,97E+04
E3		2,62	25,86	9763	0,002	0,486	7,19E+04
E4		3,08	27,09	9763	0,062	0,486	2,89E+06
E5		3,92	29,53	9763	1,526	0,486	7,80E+07
E6		3,92	29,53	9763	0,549	0,486	2,81E+07
E7		3,23	27,51	9763	1,610	0,486	7,67E+07
E8		3,23	27,51	9763	3,712	0,486	1,77E+08
E9		3,23	27,51	9763	2,570	0,486	1,22E+08
E10		3,80	29,16	9763	4,375	0,486	2,21E+08
E11		3,80	29,16	9763	5,733	0,486	2,90E+08
E12		6,63	39,39	9763	0,0002	0,486	1,20E+04






Fuente: Elaboración propia.

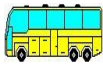



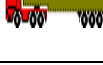


Tabla N° 3.44 Tipos de vehículos más representativos de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tipo de vehículo	EE1	EE2	EE3	EE4	EE5	EE6
						
Índice de crecimiento	6,53	2,62	3,92	3,23	3,23	3,8
Factor de crecimiento	38,94	25,86	29,53	27,51	27,51	29,16
Tránsito promedio diario	9763	9763	9763	9763	9763	9763
Factor de equivalencia de carga	0,0004	0,002	1,526	3,712	2,57	5,733
Factor de dirección	0,486	0,486	0,486	0,486	0,486	0,486
Ejes equivalentes 2042	2,38E+04	7,19E+04	7,80E+07	1,77E+08	1,22E+08	2,90E+08

Fuente: Elaboración propia.







Tabla N° 3.45 Cálculo del efecto de la carga como de ejes equivalentes por tipo de vehículo de la Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Tipo de vehículo		Índice de crec.	Factor de crec.	T.P.D.	Factor de equivalencia de carga	Factor de dirección	Ejes equivalentes
E1		6,53	38,94	8767	0,0004	0,524	2,30E+04
E2		5,33	34,23	8767	0,001	0,524	6,75E+04
E3		2,62	25,86	8767	0,002	0,524	6,96E+04
E4		3,08	27,09	8767	0,062	0,524	2,80E+06
E5		3,92	29,53	8767	1,526	0,524	7,56E+07

E6		3,92	29,53	8767	0,549	0,524	2,72E+07
E7		3,23	27,51	8767	1,610	0,524	7,43E+07
E8		3,23	27,51	8767	3,712	0,524	1,71E+08
E9		3,23	27,51	8767	2,570	0,524	1,19E+08
E10		3,80	29,16	8767	4,375	0,524	2,14E+08
E11		3,80	29,16	8767	5,733	0,524	2,80E+08
E12		6,63	39,39	8767	0,0002	0,524	1,17E+04






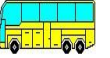
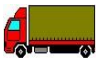





Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.46 Tipos de vehículos más representativos de la Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Tipo de vehículo	EE1	EE2	EE3	EE4	EE5	EE6
						
Índice de crecimiento	6,53	2,62	3,92	3,23	3,23	3,80
Factor de crecimiento	38,94	25,86	29,53	27,51	27,51	29,16
Tránsito promedio diario	8767	8767	8767	8767	8767	8767
Factor de equivalencia de carga	0,0004	0,002	1,526	3,712	2,570	5,733
Factor de dirección	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524
Ejes equivalentes 2042	2,30E+04	6,96E+04	7,56E+07	1,71E+08	1,19E+08	2,80E+08







Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.47 Cálculo del efecto de la carga como de ejes equivalentes por tipo de vehículo de la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Tipo de vehículo		Índice de crec.	Factor de crec.	T.P.D.	Factor de equivalencia de carga	Factor de dirección	Ejes equivalentes
E1		6,53	38,94	8011	0,0004	0,507	2,04E+04
E2		5,33	34,23	8011	0,001	0,507	5,97E+04
E3		2,62	25,86	8011	0,002	0,507	6,15E+04
E4		3,08	27,09	8011	0,062	0,507	2,48E+06
E5		3,92	29,53	8011	1,526	0,507	6,68E+07
E6		3,92	29,53	8011	0,549	0,507	2,40E+07
E7		3,23	27,51	8011	1,610	0,507	6,57E+07
E8		3,23	27,51	8011	3,712	0,507	1,51E+08
E9		3,23	27,51	8011	2,570	0,507	1,05E+08
E10		3,80	29,16	8011	4,375	0,507	1,89E+08
E11		3,80	29,16	8011	5,733	0,507	2,48E+08
E12		6,63	39,39	8011	0,0002	0,507	1,03E+04





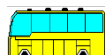
Fuente: Elaboración propia.








Tabla N° 3.48 Tipos de vehículos más representativos Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Tipo de vehículo	EE1	EE2	EE3	EE4	EE5	EE6
						
Índice de crecimiento	6,53	2,62	3,92	3,23	3,23	3,80
Factor de crecimiento	38,94	25,86	29,53	27,51	27,51	29,16
Tránsito promedio diario	8011	8011	8011	8011	8011	8011
Factor de equivalencia de carga	0,0004	0,002	1,526	3,712	2,570	5,733
Factor de dirección	0,507	0,507	0,507	0,507	0,507	0,507
Ejes equivalentes 2042	2,04E+04	6,15E+04	6,68E+07	1,51E+08	1,05E+08	2,48E+08

Fuente: Elaboración propia.







Tabla N° 3.49 Cálculo del efecto de la carga como de ejes equivalentes por tipo de vehículo Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Tipo de vehículo	Índice de crec.	Factor de crec.	T.P.D.	Factor de equivalencia de carga	Factor de dirección	Ejes equivalentes
E1 	6,53	38,94	8728	0,0004	0,512	2,24E+04
E2 	5,33	34,23	8728	0,001	0,512	6,56E+04
E3 	2,62	25,86	8728	0,002	0,512	6,77E+04
E4 	3,08	27,09	8728	0,062	0,512	2,72E+06
E5 	3,92	29,53	8728	1,526	0,512	7,35E+07

E6		3,92	29,53	8728	0,549	0,512	2,64E+07
E7		3,23	27,51	8728	1,610	0,512	7,23E+07
E8		3,23	27,51	8728	3,712	0,512	1,67E+08
E9		3,23	27,51	8728	2,570	0,512	1,15E+08
E10		3,80	29,16	8728	4,375	0,512	2,08E+08
E11		3,80	29,16	8728	5,733	0,512	2,73E+08
E12		6,63	39,39	8728	0,0002	0,512	1,13E+04













Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.50 Tipos de vehículos más representativos de la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Tipo de vehículo	EE1	EE2	EE3	EE4	EE5	EE6
						
Índice de crecimiento	6,53	2,62	3,92	3,23	3,23	3,80
Factor de crecimiento	38,94	25,86	29,53	27,51	27,51	29,16
Tránsito promedio diario	8728	8728	8728	8728	8728	8728
Factor de equivalencia de carga	0,0004	0,002	1,526	3,712	2,570	5,733
Factor de dirección	0,512	0,512	0,512	0,512	0,512	0,512
Ejes equivalentes 2042	2,24E+04	6,77E+04	7,35E+07	1,67E+08	1,15E+08	2,73E+08







Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.51 Cálculo del efecto de la carga como de ejes equivalentes por tipo de vehículo Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Tipo de vehículo		Índice de crec.	Factor de crec.	T.P.D.	Factor de equivalencia de carga	Factor de dirección	Ejes equivalentes
E1		6,53	38,94	8423	0,0004	0,528	2,23E+04
E2		5,33	34,23	8423	0,001	0,528	6,53E+04
E3		2,62	25,86	8423	0,002	0,528	6,74E+04
E4		3,08	27,09	8423	0,062	0,528	2,71E+06
E5		3,92	29,53	8423	1,526	0,528	7,32E+07
E6		3,92	29,53	8423	0,549	0,528	2,63E+07
E7		3,23	27,51	8423	1,610	0,528	7,19E+07
E8		3,23	27,51	8423	3,712	0,528	1,66E+08
E9		3,23	27,51	8423	2,570	0,528	1,15E+08
E10		3,80	29,16	8423	4,375	0,528	2,07E+08
E11		3,80	29,16	8423	5,733	0,528	2,71E+08
E12		6,63	39,39	8423	0,0002	0,528	1,13E+04

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 3.52 Tipos de vehículos más representativos de la Av. Circunvalación
entre la calle Colón y Avenida La Paz**

Tipo de vehículo	EE1	EE2	EE3	EE4	EE5	EE6
						
Índice de crecimiento	6,53	2,62	3,92	3,23	3,23	3,80
Factor de crecimiento	38,94	25,86	29,53	27,51	27,51	29,16
Tránsito promedio diario	8423	8423	8423	8423	8423	8423
Factor de equivalencia de carga	0,0004	0,002	1,526	3,712	2,570	5,733
Factor de dirección	0,528	0,528	0,528	0,528	0,528	0,528
Ejes equivalentes 2042	2,23E+04	6,74E+04	7,32E+07	1,66E+08	1,15E+08	2,71E+08

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Parámetros de cálculo para el software Ecuación AASHTO 93 para pavimentos flexibles y rígidos

3.5.2.1 Cálculo del número estructural

Para el cálculo del número estructural en pavimento flexible por el método de AASHTO 93, tenemos en cuenta que necesitamos los siguientes datos, la Serviciabilidad inicial y final, confiabilidad, desviación estándar, módulo de resiliente de la subrasante, número de ejes equivalentes (W18).

Adoptamos los siguientes valores de acuerdo a la norma AASHTO 93.

3.5.2.2 El nivel de confiabilidad (R)

Con el parámetro de Confiabilidad “R”, se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan, durarán como mínimo el período de diseño. Se consideran posibles variaciones en las predicciones del tránsito en ejes acumulados y en el comportamiento de la sección diseñada.

El actual método AASHTO para el diseño de la sección estructural de pavimentos flexibles, recomienda valores desde 50 y hasta 99.9 para el parámetro “R” de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales, notándose que los niveles más

altos corresponden a obras que estarán sujetas a un uso intensivo, mientras que los niveles más bajos corresponden a obras o caminos locales y secundarios.

Tabla N° 3.53 Valores de “R” de confiabilidad

Niveles de confiabilidad	
Clasificación funcional	Nivel recomendado por AASHTO para carreteras
Carretera Interestatal o Autopista	80-100
Red principal o Federal	75-95
Red secundaria o Estatal	75-95
Red Rural o local	50-80

Fuente: Diseño de pavimento AASHTO 93.

En este proyecto se usó el valor de 90.

3.5.2.3 Desviación estándar total (So)

La desviación estándar S_o , toma en cuenta la variabilidad asociada con el diseño, construcción y comportamiento del pavimento.

La Guía AASHTO 93 aconseja valores para la desviación estándar S_o , desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el AASHO Road Test y en base a predicciones futuras de tránsito. En la Tabla N° 3.37. se dan los valores recomendados por AASHTO 93 para pavimentos flexibles.

Tabla N° 3.54 Valores de desviación estándar

Condición de diseño	Desvío estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito	0.44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito	0.49

Fuente: Diseño de pavimento AASHTO 93.

En este proyecto se usó el valor de 0.49.

3.5.2.4 El módulo resiliente de la subrasante (MR) y de materiales granulares (CBR)

La base para la caracterización de los materiales de subrasante en este método, es el módulo resiliente o elástico. Este módulo se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición y por tal motivo se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos como por ejemplo el CBR. La norma boliviana ABC nos recomienda que los valores de CBR para subrasante debe estar mínimamente entre 4% al 8%.

Tabla N° 3.55 Valores de CBR para subrasante

Profundidad debajo de la subrasante (cm)	CBR mínimo requerido (%)
0 a 20	8
20 a 40	6
40 a 60	4

Fuente: Manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción ABC.

Para este proyecto se usó el valor de 7 % de CBR

La correlación que se utiliza para el presente proyecto es:

La correlación establecida por Heukelom y Klomp: aplicable a suelos finos con CBR saturado menor a 10%.

$$M_R (\text{psi}) = 1500 * \text{CBR}$$

$$M_R (\text{psi}) = 1500 * 7$$

$$M_R (\text{psi}) = 10500$$

3.5.2.5 La pérdida de nivel de servicio durante el periodo de diseño $\Delta\text{PSI} = \text{Po} - \text{Pt}$

La serviciabilidad es la capacidad de un pavimento para servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño de pavimentos se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La serviciabilidad inicial P_o es función del diseño del pavimento y de la calidad de construcción. La serviciabilidad final o terminal P_t es función de la categoría del camino y es adoptada en base a esta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados por la AASHTO 93 están indicados a continuación:

Serviciabilidad Inicial

$P_o = 4.5$ para pavimentos rígidos

$P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles

Serviciabilidad terminal

Pt= 2.5 o más para caminos muy importantes

Pt= 2.0 para caminos de menor tránsito

3.5.2.6 Valores pavimento flexible

Tabla N° 3.56 Valores pavimento flexible

Pavimento Flexible	
Serviciabilidad inicial	4,2
Serviciabilidad final	2,5
Confiabilidad	90%, $Z_R = -1,282$
Desviación estándar	0,49
Módulo resiliente de la subrasante	10500
Número de ejes equivalentes (W18)	Depende de cada tipo de vehículo

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3 Valores de los ejes equivalentes de los vehículos más representativos de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tabla N° 3.57 Valores de los ejes equivalentes de los vehículos más representativos de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tipo de vehículo	Ejes equivalentes 2042
Automóviles y vagonetas	2,38E+04
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	7,19E+04
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	7,80E+07
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	1,77E+08
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	1,22E+08
Camiones remolque	2,90E+08
Ejes equivalentes actuales	1,28E+06

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3.1 Aplicación de diseño de pavimento flexible por el método AASHTO 93, mediante el software Ecuación AASHTO 93

Para el desarrollo del diseño de pavimento flexible por el método de AASHTO 93, tenemos en cuenta que con el software el cual calcula el SN (número estructural) a partir de los datos como la Serviciabilidad inicial y final, confiabilidad, desviación estándar, módulo de resiliente de la capa, número de ejes equivalentes (W18)

Figura 3.39 Interfaz software Ecuación AASHTO 93

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. It is a window with a title bar and standard Windows controls. The interface is organized into several sections: 1. 'Tipo de Pavimento' with radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'. 2. 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' with a dropdown menu for 'Reliability (R)' and a text input field for 'So'. 3. 'Serviciabilidad inicial y final' with text input fields for 'PSI inicial' and 'PSI final'. 4. 'Módulo resiliente de la subrasante' with a text input field for 'Mr' and the unit 'psi'. 5. 'Información adicional para pavimentos rígidos' with text input fields for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'. 6. 'Tipo de Análisis' with radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18', and a text input field for 'W18 ='. 7. 'Número Estructural' with a text input field for 'SN ='. 8. Two buttons at the bottom: 'Calcular' and 'Salir'.

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Al verificar los datos en el Software Ecuación AASHTO 93, se obtienen el valor del número estructural de los vehículos más representativos.

Paso 1: Se debe elegir el tipo de pavimento a diseñar en nuestro caso, el diseño del pavimento flexible.

Figura 3.40 Ecuación AASHTO, pavimento flexible

This screenshot is identical to Figure 3.39, showing the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The 'Calcular SN' radio button is selected, and the 'W18 =' and 'SN =' text boxes are visible. The 'Calcular' and 'Salir' buttons are at the bottom.

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 2: Se debe seleccionar la confiabilidad (R), La escogida por el diseño es del 90% Es equivalente a un fráctil del $Z_R = -1,282$

Figura 3.41 Ecuación AASHTO, R= 90%

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section has a dropdown menu open, showing a list of confidence levels and their corresponding Z-values. The '90 % Zr=-1.282' option is selected and highlighted in blue. Other options include 75 % Zr=-0.674, 80 % Zr=-0.841, 85 % Zr=-1.037, 91 % Zr=-1.340, 92 % Zr=-1.405, 93 % Zr=-1.476, and 94 % Zr=-1.555. The 'So' field is empty. In the 'Tipo de Análisis' section, 'Calcular SN' is selected, and the 'W18 =' field is empty. The 'Calcular' and 'Salir' buttons are visible at the bottom.

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 3: Al verificar los valores de desviación estándar al sistema, el índice de servicio inicial, índice de servicio final y tránsito, procedemos a colocar en el software. Para los valores de este diseño son $S_o = 0.49$, $PSI_{Inicial} = 4.2$, $PSI_{Final} = 2.5$ y $W18 =$ depende de cada tipo de vehículo

Figura 3.42 Ecuación AASHTO, $S_o = 0.49$, $psi_{inicial} = 4.2$, $psi_{final} = 2.5$ y $W18 = 2.3E4$

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window with updated values. In the 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section, the dropdown is set to '90 % Zr=-1.282' and the 'So' field contains '0.49'. In the 'Serviciabilidad inicial y final' section, 'PSI inicial' is '4.2' and 'PSI final' is '2.5'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section has an empty 'Mr' field. In the 'Tipo de Análisis' section, 'Calcular SN' is selected, and the 'W18 =' field is empty. The 'Calcular' and 'Salir' buttons are visible at the bottom.

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 4: se le introduce los valores en el programa ya anteriormente calculados, los cuales son el nivel de Serviciabilidad inicial y final, módulo resiliente de la capa y número de ejes para lo cual se está diseñando.

Figura 3.43 Ecuación AASHTO, $S_o= 0.49$, $\text{psi inicial}=4.2$, $\text{psi final}=2.5$ y $W_{18}= 2.3E4$

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 5: Se procede a calcular el número estructural de cada tipo de vehículo cambiando sus ejes equivalentes.

Figura 3.44 Ecuación AASHTO, $S_o= 0.49$, $\text{psi inicial}= 4.2$, $\text{psi final}= 2.5$ y $W_{18}= 2.3E4$

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

3.5.3.2 Cálculo del número estructural de los ejes equivalentes actuales de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Figura 3.45 Análisis de cálculo del número estructural en el software Ecuación AASHTO 93 para los ejes equivalentes actuales de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tipo de Pavimento		Confianza (R) y Desviación estándar (So)	
<input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible	<input type="radio"/> Pavimento rígido	90 % Zr=-1.282	So 0.49
Serviciabilidad inicial y final		Módulo resiliente de la subrasante	
PSI inicial 4.2	PSI final 2.5	Mr 10500 psi	
Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)		Coefficiente de transmisión de carga - (J)	
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)		Coefficiente de drenaje - (Cd)	
Tipo de Análisis		Número Estructural	
<input checked="" type="radio"/> Calcular SN	W18 = 9.73E5	SN =	3.11
<input type="radio"/> Calcular W18			

Fuente: Elaboración propia.

Para los ejes equivalentes actuales se obtuvo un valor de SN de 3,11 pulgadas

3.5.3.3 Cálculo del número estructural de los vehículos más representativos de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Figura 3.46 Análisis de cálculo del número estructural en el software Ecuación AASHTO 93 para automóviles y vagonetas en la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tipo de Pavimento		Confianza (R) y Desviación estándar (So)	
<input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible	<input type="radio"/> Pavimento rígido	90 % Zr=-1.282	So 0.49
Serviciabilidad inicial y final		Módulo resiliente de la subrasante	
PSI inicial 4.2	PSI final 2.5	Mr 10500 psi	
Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)		Coefficiente de transmisión de carga - (J)	
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)		Coefficiente de drenaje - (Cd)	
Tipo de Análisis		Número Estructural	
<input checked="" type="radio"/> Calcular SN	W18 = 2.38E+04	SN =	1.66
<input type="radio"/> Calcular W18			

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de SN de 1,66 pulgadas

Figura 3.47 Análisis de cálculo del número estructural en el software Ecuación AASHTO 93 para minibuses (hasta 15 pasajeros) en la Avenida Víctor Paz

Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de SN de 2,01 pulgadas

Figura 3.48 Análisis de cálculo del número estructural en el software Ecuación AASHTO 93 para buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes) en la Avenida

Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de SN de 6,01 pulgadas

Figura 3.49 Análisis de cálculo del número estructural en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes) en la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '90 % Zr=-1.282' and 'So = 0.49'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.5'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr = 10500 psi'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, showing 'W18 = 1.77E+08'. The 'Número Estructural' section shows 'SN = 6.68'. There are 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de SN de 6,68 pulgadas

Figura 3.50 Análisis de cálculo del número estructural en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes) en la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '90 % Zr=-1.282' and 'So = 0.49'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.5'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr = 10500 psi'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, showing 'W18 = 1.22E+08'. The 'Número Estructural' section shows 'SN = 6.37'. There are 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de SN de 6,37 pulgadas

Figura 3.51 Análisis de cálculo del número estructural en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones remolque en la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de SN de 7,12 pulgadas

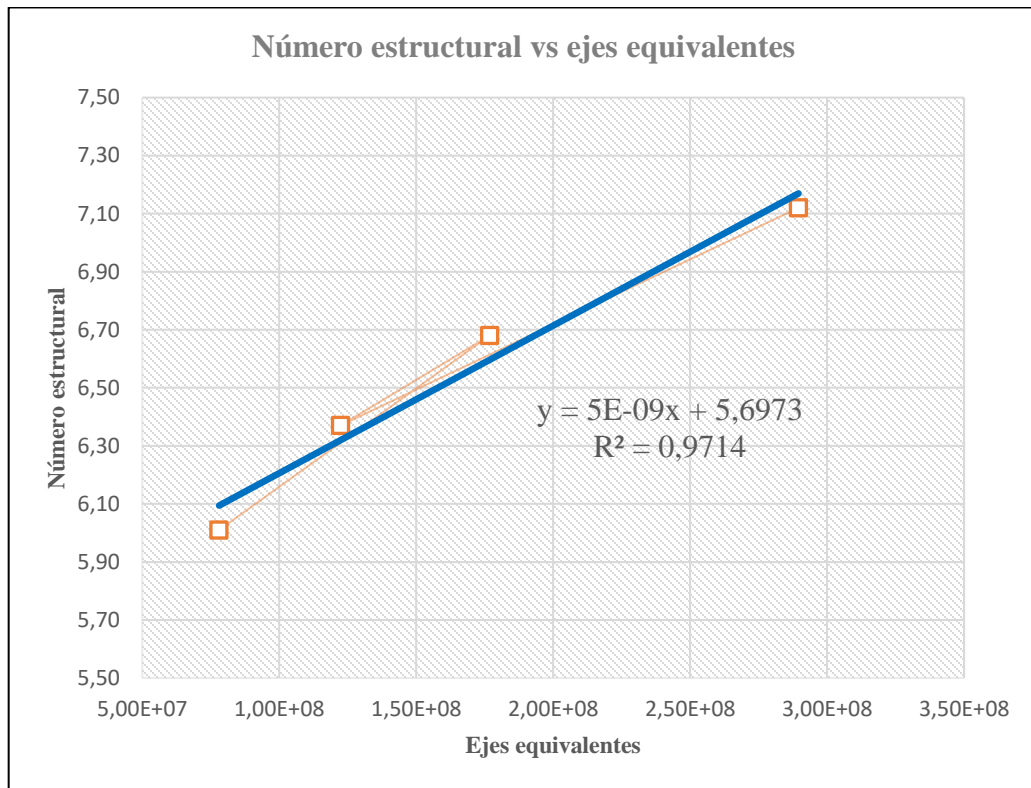
3.5.3.4 Resultados obtenidos de ejes equivalentes y número estructural de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tabla N° 3.58 Tabla de resultados obtenidos de ejes equivalentes y número estructural de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tipo de vehículo	Ejes equivalentes 2042	Número estructural
Automóviles y vagonetas	2,38E+04	1,66
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	7,19E+04	2,01
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	7,80E+07	6,01
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	1,77E+08	6,68
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	1,22E+08	6,37
Camiones remolque	2,90E+08	7,12
Ejes equivalentes actuales	1,28E+06	3,25

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.52 Gráfica de ejes equivalentes vs número estructural de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario



Fuente: Elaboración propia.

Para nuestra gráfica de espesor total vs ejes equivalentes se descartó los primeros dos valores debido a que no son tan representativos y podrían modificar nuestro ajuste de curva, dándonos como resultado una ecuación lineal.

3.5.3.5 Cálculo del espesor total del pavimento flexible de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

De acuerdo a la normativa AASHTO y a partir del número estructural podemos calcular el espesor total del pavimento mediante la siguiente fórmula.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Donde:

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

D_1 , D_2 y D_3 = Espesor de la carpeta, base y subbase respectivamente en pulgadas.

m_2 y m_3 = Coeficientes de drenaje para base y subbase respectivamente.

3.5.3.6 Valores de acuerdo a normativa y son mas usados en nuestro medio para el cálculo del espesor de la Subbase (D3)

Tabla N° 3.59 Valores para el cálculo del espesor de la subbase de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Valores para el cálculo del espesor de la Subbase		
a1	0,44	
e1	2	pulg
a2	0,17	
e2	6	pulg
m1	1	
a3	0,11	
m2	1	

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3.7 Resultados de ejes equivalentes y espesores totales de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Tabla N° 3.60 Resumen de resultados de ejes equivalentes y espesores totales Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

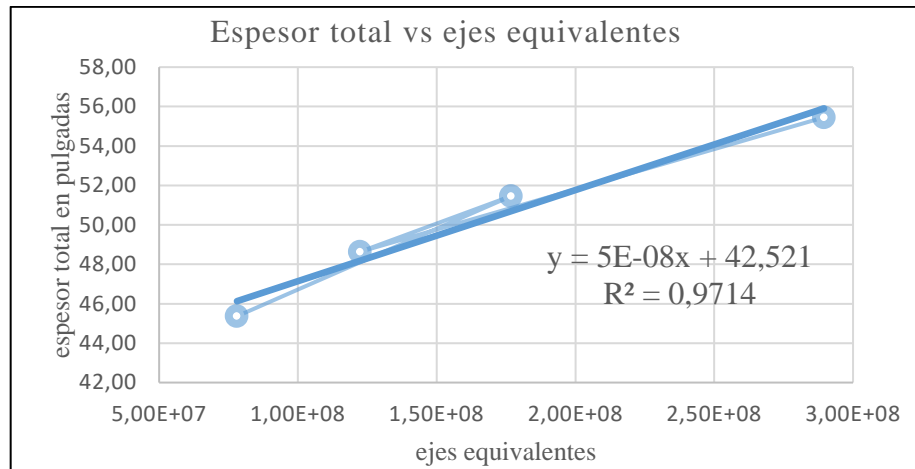
Tipo de vehículo	Ejes equivalentes 2042	Número estructural	Espesor D3 Subbase	Espesor total pulgadas
Automóviles y vagonetas	2,38E+04	1,66	-2,18	8
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	7,19E+04	2,01	1	9
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	7,80E+07	6,01	37,36	45,36
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	1,77E+08	6,68	43,45	51,45
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	1,22E+08	6,37	40,64	48,64
Camiones remolque	2,90E+08	7,12	47,45	55,45
Ejes equivalentes actuales	1,28E+06	3,25	12,27	20,27

Fuente: Elaboración propia.

El valor negativo -2,27 pulgadas nos indica que este pavimento no necesita subbase solo la capa base y capa de rodadura.

3.5.3.8 Espesor total vs ejes equivalentes de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario

Figura 3.53 Gráfica de espesor total vs ejes equivalentes de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario



Fuente: Elaboración propia.

Para nuestra gráfica de espesores totales vs ejes equivalentes se descartó los primeros dos valores debido a que no son tan representativos y podrían modificar nuestro ajuste de curva, dándonos como resultado una ecuación lineal.

3.5.4 Valores de los ejes equivalentes de los vehículos más representativos de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Tabla N° 3.61 Valores de los ejes equivalentes de los vehículos más representativos de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Tipo de vehículo	Ejes equivalentes 2042
Automóviles y vagonetas	2,30E+04
Minibuses	6,96E+04
Buses medianos	7,56E+07
Camiones grandes (de 2 ejes)	1,71E+08
Camiones grandes (de 3 ejes)	1,19E+08
Camiones remolque	2,80E+08
Ejes equivalentes actuales	9,73E+05

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4.1 Cálculo del número estructural de los ejes equivalentes actuales de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Figura 3.54 Análisis de cálculo del número estructural en el software Ecuación AASHTO 93 para los ejes equivalentes actuales de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' is set to '90 % Zr=-1.282' and 'So = 0.49'. 'Serviciabilidad inicial y final' shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.5'. 'Módulo resiliente de la subrasante' is 'Mr = 10500 psi'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 1.28E6' and 'Número Estructural = SN = 3.25'. Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are visible at the bottom.

Fuente: Elaboración propia.

Para los ejes equivalentes actuales se obtuvo un valor de SN de 3,25 pulgadas.

Figura 3.55 Análisis de cálculo del número estructural en el software Ecuación AASHTO 93 para automóviles y vagonetas en la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento rígido' selected. 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' is set to '90 % Zr=-1.282' and 'So = 0.49'. 'Serviciabilidad inicial y final' shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.5'. 'Módulo resiliente de la subrasante' is 'Mr = 10500 psi'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 2.30E+04' and 'Número Estructural = SN = 1.65'. Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are visible at the bottom.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de SN de 1,65.

Figura 3.56 Análisis de cálculo del número estructural en el software Ecuación AASHTO 93 para minibuses (hasta 15 pasajeros) en la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de SN de 2,00.

Figura 3.57 Análisis de cálculo del número estructural en el software Ecuación AASHTO 93 para buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes) en la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de SN de 5,98.

Figura 3.58 Análisis de cálculo del número estructural en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes) en la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '90 % Zr=-1.282' and 'So = 0.49'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.5'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr = 10500 psi'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 1.71E+08' displayed. The 'Número Estructural' section shows 'SN = 6.65'. There are 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de SN de 6,65.

Figura 3.59 Análisis de cálculo del número estructural en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes) en la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '90 % Zr=-1.282' and 'So = 0.49'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.5'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr = 10500 psi'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 1.19E+08' displayed. The 'Número Estructural' section shows 'SN = 6.35'. There are 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de SN de 6,35.

Figura 3.60 Análisis de cálculo del número estructural en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones remolque en la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' is set to '90 % Zr=-1.282' and 'So = 0.49'. 'Serviciabilidad inicial y final' shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.5'. 'Módulo resiliente de la subrasante' is 'Mr = 10500 psi'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, resulting in 'W18 = 2.80E+08' and 'Número Estructural SN = 7.08'. Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are visible at the bottom.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de SN de 7,08.

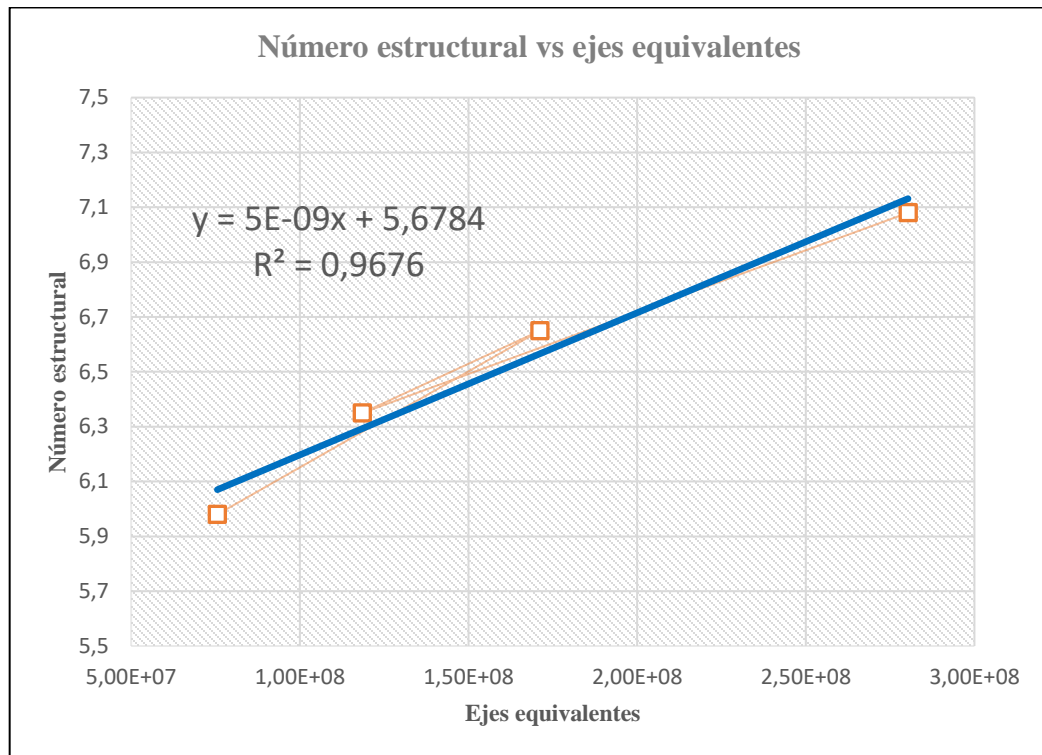
3.5.4.2 Resultados obtenidos de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Tabla N° 3.62 Tabla de resultados obtenidos de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Tipo de vehículo	Ejes equivalentes 2042	Número estructural
Automóviles y vagonetas	2,30E+04	1,66
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	6,96E+04	2,01
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	7,56E+07	6,01
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	1,71E+08	6,68
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	1,19E+08	6,37
Camiones remolque	2,80E+08	7,12
Ejes equivalentes actuales	9,73E+05	3,11

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.61 Gráfica de ejes equivalentes vs número estructural de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín



Fuente: Elaboración propia.

Para nuestra gráfica de número estructural vs ejes equivalentes se descartó los primeros dos valores debido a que no son tan representativos y podrían modificar nuestro ajuste de curva, dándonos como resultado una ecuación lineal.

3.5.4.3 Cálculo del espesor total del pavimento flexible de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

De acuerdo a la normativa AASHTO y a partir del número estructural podemos calcular el espesor total del pavimento mediante la siguiente fórmula.

$$SN= a_1D_1+a_2d_2m_2+a_3D_3m_3$$

Donde:

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

D_1 , D_2 y D_3 = Espesor de la carpeta, base y subbase respectivamente en pulgadas.

m_2 y m_3 = Coeficientes de drenaje para base y subbase respectivamente.

3.5.4.4 Valores de acuerdo a normativa y son mas usados en nuestro medio para el Cálculo del espesor de la Subbase (D3)

Tabla N° 3.63 Valores para el cálculo del espesor de la subbase de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Valores para el cálculo del espesor de la Subbase		
a1	0,44	
e1	2	pulg
a2	0,17	
e2	6	pulg
m1	1	
a3	0,11	
m2	1	

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4.5 Resultados de ejes equivalentes y espesores totales de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Tabla N° 3.64 Resumen de resultados de ejes equivalentes y espesores totales de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

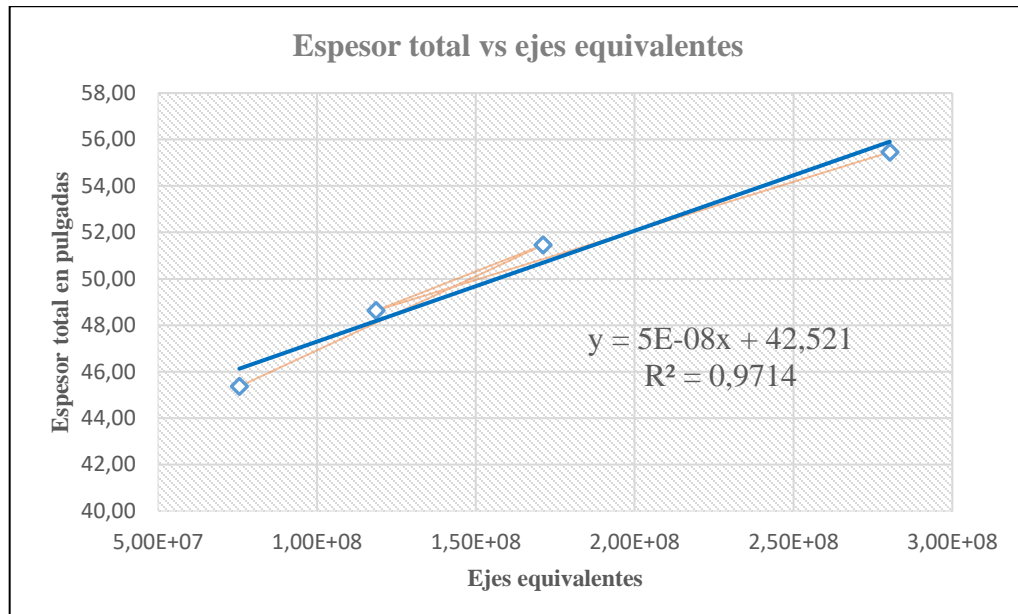
Tipo de vehículo	Ejes equivalentes 2042	Número estructural	Espesor D3 Subbase	Espesor total pulgadas
Automóviles y vagonetas	2,30E+04	1,66	-2,18	8
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	6,96E+04	2,01	1	9
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	7,56E+07	6,01	37,36	45,36
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	1,71E+08	6,68	43,45	51,45
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	1,19E+08	6,37	40,64	48,64
Camiones remolque	2,80E+08	7,12	47,45	55,45
Ejes equivalentes actuales	9,73E+05	3,11	11	19

Fuente: Elaboración propia.

El valor negativo -2,18 pulgadas nos indica que este pavimento no necesita subbase solo la capa base y capa de rodadura

3.5.4.5. Espesor total vs ejes equivalentes de la Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín

Figura 3.62 Gráfica de espesor total vs ejes equivalentes Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín



Fuente: Elaboración propia.

Para nuestra gráfica de espesores totales vs ejes equivalentes se descartó los primeros dos valores debido a que no son tan representativos y podrían modificar nuestro ajuste de curva, dándonos como resultado una ecuación lineal.

3.6 DETERMINACIÓN DEL EFECTO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

3.6.1 Procedimiento de cálculo del espesor del pavimento rígido

Para el cálculo del espesor del pavimento rígido por el método de AASHTO 93, tenemos en cuenta que necesitamos los siguientes datos, la Serviciabilidad inicial y final, confiabilidad, desviación estándar, módulo de elasticidad del concreto, módulo de rotura del concreto, coeficiente de transmisión de carga, coeficiente de drenaje, número de ejes equivalentes (W18).

3.6.1.1 Coeficiente de drenaje Cd

Los efectos del drenaje sobre el comportamiento del pavimento han sido considerados en el método AASHTO 93 por medio de un coeficiente de drenaje (Cd). El drenaje es tratado

considerando el efecto del agua sobre las propiedades de las capas del pavimento y sus consecuencias sobre la capacidad estructural de éste; y además el efecto que tiene sobre el coeficiente de transferencia de carga en pavimentos rígidos.

La siguiente tabla proporciona los valores recomendados por la AASHTO para el coeficiente de drenaje Cd, que depende de la propiedad con que cuentan las capas que constituyen la estructura del pavimento para liberar el agua libre entre sus granos, en función del tiempo durante el cual la estructura del pavimento está expuesta normalmente expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla N° 3.65 Valores recomendables del coeficiente de drenaje (cd).

Cd	Tiempo Transcurrido para que el suelo libere el 50% de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación			
		<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	2 horas	1,25-1,20	1,20-1,15	1,15-1,10	1,1
Bueno	1 día	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10-1,00	1
Regular	1 semana	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00-0,90	0,9
Pobre	1 mes	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90-0,80	0,8
Muy pobre	nunca	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80-0,70	0,7

Fuente: Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.

Las condiciones morfológicas de la zona, las obras de drenaje provistas indican un drenaje entre regular y bueno, las características de precipitación de la zona nos llevan a deducir que entre el 5 y 25% del tiempo el pavimento estará en niveles cercanos a la saturación. Para nuestro proyecto adoptamos el valor de Cd= 1,1 asumiendo que es un drenaje regular de acuerdo a la norma.

3.6.1.2 Transferencia de carga

Las cargas de tránsito deben ser transmitidas de una manera eficiente de una losa a la siguiente para minimizar las deflexiones en las juntas. Las deflexiones excesivas producen bombeo de la subbase y posteriormente rotura de la losa de concreto.

El mecanismo de transferencia de carga en la junta transversal entre losa y losa se lleva a efecto de las siguientes maneras:

Junta con dispositivos de transferencia de carga (pasadores de varilla lisa de acero) con o sin malla de refuerzo por temperatura.

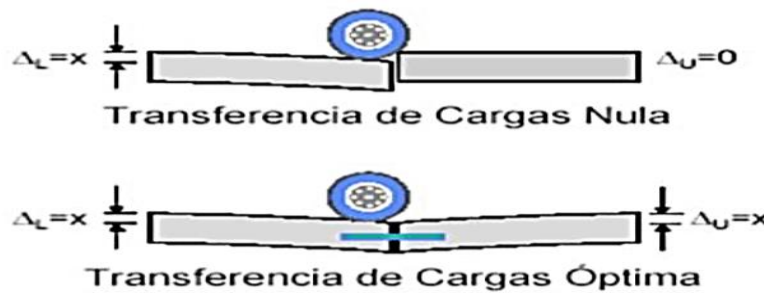
Losa vaciada monolíticamente con refuerzo continuo, (acero de refuerzo de varilla corrugada armada en ambas direcciones) no se establece virtualmente la junta transversal,

tomándose en cuenta para el cálculo del acero estructural la remota aparición de grietas transversales.

Junta transversal provocada por aserrado cuya transferencia de carga se lleva a efecto a través de la trabazón entre los agregados.

En la Figura 3.41 se observa que una transferencia de cargas es nula, cuando la losa no cargada no experimenta ninguna deflexión, todo lo contrario, sucede cuando hay una transferencia de cargas perfecta donde la deflexión de la losa no cargada es igual a la de la losa cargada.

Figura 3.63 Transferencia de carga.



Fuente: Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.

El uso de bermas de concreto unidas o losas ensanchadas reducen las tensiones y deformaciones en una losa. Es por eso que se usan valores menores de J. La razón para tomar J menores en pavimentos con bermas de concreto unida es porque se supone que los vehículos no transitarán por la misma. Es necesario tener en cuenta que la zona crítica de la losa es la esquina y con esta premisa las cargas se alejan de ella, permitiendo una reducción de espesores.

Tabla N° 3.66 Coeficientes de transferencia de cargas

Tipo de pavimento	Berma de asfalto		Berma de H° vinculada	
	Disp. De transferencia		Disp. De transferencia	
	Si	No	Si	No
Junta sencilla y reforzada	3,2	3,8-4,4	2,5-3,1	3,6-4,2
Continuamente reforzada	2,9-3,2	N/D	2,3-2,9	N/D

Fuente: Diseño De Pavimentos AASHTO 93.

3.6.1.3 Propiedades estructurales básicas

Las propiedades estructurales del suelo-cemento dependen del tipo de suelo, condiciones de curado, y edad. Los rangos típicos para una amplia variedad de tipos de suelo-cemento, a sus respectivos contenidos de cemento requeridos para durabilidad, son:

Tabla N° 3.67 Propiedades estructurales básicas

Propiedad	Valores a 28 días
Resistencia a la compresión, saturada	400-900psi
Modulo de ruptura	80-180psi
Módulo de elasticidad (módulo estático a la flexión)	600,000-2'000,000 psi
Relación de Poisson	0.12-0.14 ¹
Radio de curvatura crítico ² , en viga de 6x6x30 pulg	4,000-7,500 pulg

Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO 93.

3.6.1.4 Módulo promedio de ruptura del hormigón a los 28 días (S'c)

El Módulo de rotura o resistencia a tracción del hormigón por flexión, es el esfuerzo de tensión en la fibra extrema bajo la carga de rotura. Para determinar este módulo se usa el ensayo de carga del tercio central (AASHTO T93, ASTM C78).

Las expresiones que correlacionan la resistencia a compresión a los 28 días con el módulo de ruptura ofrecen valores muy dispersos con relación a los valores obtenidos mediante el ensayo nombrado, razón por la cual se dificulta la elección de un valor de resistencia cilíndrica para la obra.

En la práctica del diseño de pavimentos se ha generalizado el empleo de valores promedio de $S'c = 4,50 \text{ MPa} = 652,7 \text{ Psi}$, el cual será adoptado en el presente proyecto.

3.6.1.5 Módulo de elasticidad (Ec)

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir las cargas que soporta la losa del pavimento. Mientras más alto sea el valor del módulo elástico, más rígida será la losa.

Los esfuerzos, deformaciones y deflexiones, están influenciados por el valor del módulo elástico. Este valor se determina usando los procedimientos descritos en el ensayo ASTM 469. Sin embargo, puede determinarse el valor del módulo de elasticidad a partir de la resistencia a compresión o a la flexión del hormigón. En nuestro caso, se ha utilizado la siguiente expresión:

$$E_c = 1000000 * [SC'(Psi) - 3,370] / 43,50$$

$$E_c = 26000 \text{ MPa} = 3770981 \text{ Psi}$$

3.6.1.6 Módulo efectivo de reacción de la subrasante (K)

En el presente proyecto se han revisado los conceptos y distintos factores que intervienen en la elección del valor de este módulo, los valores ahí obtenidos son

$$\text{Para CBR} = 7 \% = K = 59,11 \text{ kPa/mm} = 217,78 \text{ Pci}$$

Tabla N° 3.68 Tabla de valores pavimento rígido

Pavimento rígido	
Serviciabilidad inicial	4,5
Serviciabilidad final	2,5
Confiabilidad	90%, $Z_R = -1,282$
Desviación estándar	0,49
Módulo de reacción de la subrasante k	217,78
Módulo de elasticidad del concreto E_c	3770981
Módulo de rotura del concreto S_c	652,7
Coefficiente de transmisión de carga J	2,7
Coefficiente de drenaje C_d	1,1
Número de ejes equivalentes (W18)	Depende de cada tipo de vehículo

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.7 Aplicación de diseño de pavimento rígido por el método AASHTO 93, mediante el software Ecuación AASHTO 93

Para el desarrollo del diseño de Pavimento rígido por el método de AASHTO 93, tenemos en cuenta que necesitamos los siguientes datos, la Serviciabilidad inicial y final, confiabilidad, desviación estándar, módulo de elasticidad del concreto, módulo de rotura del concreto, coeficiente de transmisión de carga, coeficiente de drenaje, número de ejes equivalentes (W18).

Figura 3.64 Interfaz software Ecuación AASHTO 93

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It features several input sections: 'Tipo de Pavimento' with radio buttons for 'Pavimento flexible' and 'Pavimento rígido' (selected); 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' with a dropdown for 'Reliability (R)' and a text box for 'So'; 'Serviciabilidad inicial y final' with text boxes for 'PSI inicial' and 'PSI final'; 'Módulo de reacción de la subrasante' with a text box for 'k' and the unit 'pci'; 'Información adicional para pavimentos rígidos' with text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'; 'Tipo de Análisis' with radio buttons for 'Calcular D' (selected) and 'Calcular W18', and a text box for 'W18 ='; 'Espesor de losa (plg)' with a text box for 'D ='. At the bottom are 'Calcular' and 'Salir' buttons.

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Al verificar los datos en el Software Ecuación AASHTO 93, se obtienen el valor del Espesor de la Losa de los vehículos más representativos.

Figura 3.65 Ecuación AASHTO, pavimento rígido

This screenshot is identical to Figure 3.64, showing the same software interface for the AASHTO 93 pavement design method. It includes the same input fields for pavement type, reliability, serviceability, modulus of reaction, concrete properties, transmission and drainage coefficients, analysis type, and slab thickness, along with the 'Calcular' and 'Salir' buttons.

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 1: Se debe elegir el tipo de pavimento a diseñar en nuestro caso, el diseño del pavimento rígido.

Paso 2: Se debe seleccionar la confiabilidad (R), La escogida por el diseño es del 90% Es equivalente a un fráctil del $Z_R = -1,282$

Figura 3.66 Ecuación AASHTO, R= 90%

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 3: Al verificar los valores de desviación estándar al sistema, el índice de servicio inicial, índice de servicio final y tránsito, procedemos a colocar en el software.

Para los valores de este diseño son $S_o = 0.49$, $\text{Psi Inicial} = 4.2$, $\text{Psi Final} = 2.5$ y $W18 =$ depende de cada tipo de vehículo

Figura 3.67 Ecuación AASHTO, $S_o = 0.49$, psi inicial= 4.2, psi final= 2.5 y $W18 = 2.8E8$

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 4: se le introduce los valores en el programa ya anteriormente calculados, los cuales son el nivel de Serviciabilidad inicial y final, módulo de elasticidad del concreto, módulo de rotura del concreto, coeficiente de transmisión de carga, coeficiente de drenaje, número de ejes equivalentes (W18)

Figura 3.68 Ecuación AASHTO, $S_o= 0.49$, $\text{psi inicial}= 4.2$, $\text{psi final}= 2.5$ y $W18= 2.8E8$

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Paso 5: Se procede a calcular el número estructural de cada tipo de vehículo cambiando sus ejes equivalentes.

Figura 3.69 Ecuación AASHTO, $S_o= 0.49$, $\text{psi inicial}= 4.2$, $\text{psi final}= 2.5$ y $W18= 2.8E8$

Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

3.6.2 Valores de los ejes equivalentes actuales y de los vehículos más representativos Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Tabla N° 3.69 Valores de los ejes equivalentes actuales y de los vehículos más representativos Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Tipo de vehículo	Ejes equivalentes 2042
Automóviles y vagonetas	2,04E+04
Minibuses	6,15E+04
Buses medianos	6,68E+07
Camiones grandes (de 2 ejes)	1,51E+08
Camiones grandes	1,05E+08
Camiones remolque	2,48E+08
Ejes equivalentes actuales	1,42E+06

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.1 Cálculo del espesor de losa actuales y de los vehículos más representativos de la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Figura 3.70 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para los ejes equivalentes actuales en la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Fuente: Elaboración propia.

Para los ejes equivalentes actuales se obtuvo un valor de 2 pulgadas que son 5,08 cm., adoptaremos 6,7 pulgadas ya que en Bolivia el espesor mínimo de losa es de 17 cm.

Figura 3.71 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para automóviles y vagonetas en la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 90 % $Z_r = -1.282$ So: 0.49

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

Módulo de reacción de la subrasante: k: 217.78 pci

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): 3770981 Coeficiente de transmisión de carga - (J): 2.7

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): 652.7 Coeficiente de drenaje - (Cd): 1.1

Tipo de Análisis: Calcular D $W_{18} = 2.04E+04$ Calcular W_{18}

Espesor de losa (plg): D = 2.0

Botones: Calcular, Salir

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 2 pulgadas que son 5,08 cm., adoptaremos 6,7 pulgadas ya que en Bolivia el espesor mínimo de losa es de 17 cm.

Figura 3.72 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para minibuses (hasta 15 pasajeros) en la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 90 % $Z_r = -1.282$ So: 0.49

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

Módulo de reacción de la subrasante: k: 217.78 pci

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): 3770981 Coeficiente de transmisión de carga - (J): 2.7

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): 652.7 Coeficiente de drenaje - (Cd): 1.1

Tipo de Análisis: Calcular D $W_{18} = 6.15E+04$ Calcular W_{18}

Espesor de losa (plg): D = 2.0

Botones: Calcular, Salir

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 2 pulgadas que son 5,08 cm., adoptaremos 6,7 pulgadas ya que en Bolivia el espesor mínimo de losa es de 17 cm.

Figura 3.73 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes) en la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 12,6 pulgadas que son 32 cm.

Figura 3.74 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes) en la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 14,3 pulgadas que son 36,32 cm.

Figura 3.75 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes) en la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 90 % $Z_r = -1.282$ So: 0.49

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

Módulo de reacción de la subrasante: k: 217,78 pci

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): 3770981 Coeficiente de transmisión de carga - (J): 2.7

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): 652.7 Coeficiente de drenaje - (Cd): 1.1

Tipo de Análisis: Calcular D $W_{18} = 1.05E+08$ Calcular W_{18}

Espesor de losa (plg): D = 13.5

Calcular Salir

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 13,5 pulgadas que son 34,29 cm.

Figura 3.76 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones remolque en la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 90 % $Z_r = -1.282$ So: 0.49

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

Módulo de reacción de la subrasante: k: 217,78 pci

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): 3770981 Coeficiente de transmisión de carga - (J): 2.7

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): 652.7 Coeficiente de drenaje - (Cd): 1.1

Tipo de Análisis: Calcular D $W_{18} = 2.48E+08$ Calcular W_{18}

Espesor de losa (plg): D = 15.4

Calcular Salir

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 15,4 pulgadas que son 39,12 cm.

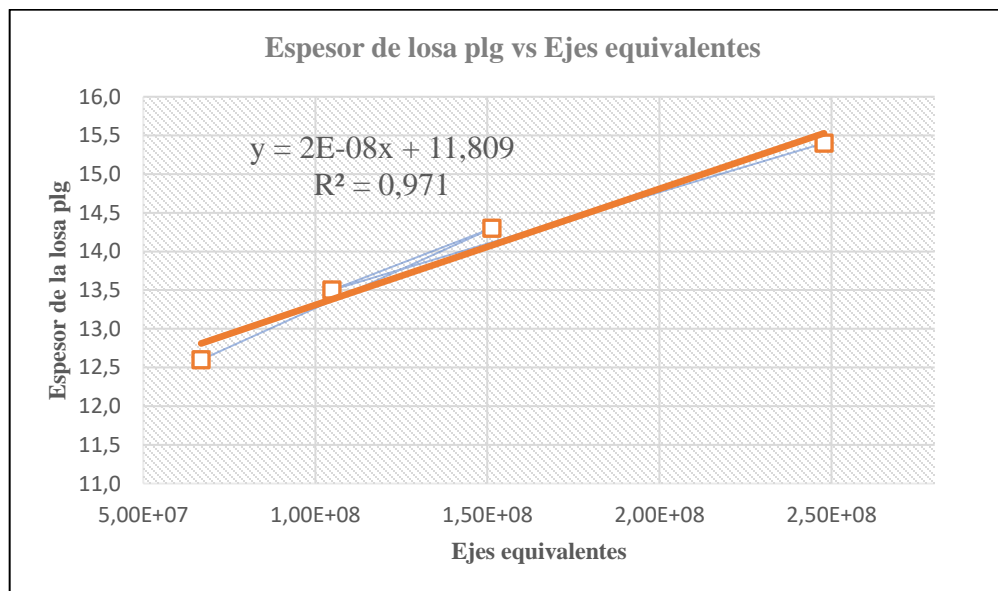
3.6.2.2 Resultados de ejes equivalentes y espesores totales de la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Tabla N° 3.70 Tabla de resultados obtenidos de la Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte

Tipo de vehículo	Ejes equivalentes 2042	Espesor de la losa (plg)	Espesor final de la losa (plg)
Automóviles y vagonetas	2,04E+04	2	6,7
Minibuses	6,15E+04	2	6,7
Buses medianos	6,68E+07	12,6	12,6
Camiones grandes	1,51E+08	14,3	14,3
Camiones grandes	1,05E+08	13,5	13,5
Camiones remolque	2,48E+08	15,4	15,4
Ejes equivalentes actuales	1,42E+06	2	6,7

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.77 Gráfica de ejes equivalentes vs espesor de losa.



Fuente: Elaboración propia.

Para nuestra gráfica de espesores de losa vs ejes equivalentes se descartó los primeros dos valores debido a que no son tan representativos y podrían modificar nuestro ajuste de curva, dándonos como resultado una ecuación lineal.

3.6.3 Valores de los ejes equivalentes actuales y de los vehículos más representativos Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Tabla N° 3.71 Valores de los ejes equivalentes de los vehículos más representativos Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Tipo de vehículo	Ejes equivalentes 2042
Automóviles y vagonetas	2,24E+04
Minibuses	6,77E+04
Buses medianos	7,35E+07
Camiones grandes (de 2 ejes)	1,67E+08
Camiones grandes (de 3 ejes)	1,15E+08
Camiones remolque	2,73E+08
Ejes equivalentes actuales	1,34E+06

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.1 Cálculo del espesor de losa actuales y de los vehículos más representativos de la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Figura 3.78 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para los ejes equivalentes actuales en la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The 'Tipo de Pavimento' is set to 'Pavimento rígido'. 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' are set to '90 % Zr=-1.282' and 'So 0.49'. 'Serviciabilidad inicial y final' are 'PSI inicial 4.2' and 'PSI final 2.5'. 'Módulo de reacción de la subrasante' is 'k 217.78 pci'. 'Información adicional para pavimentos rígidos' includes 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) 3770981', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) 652.7', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J) 2.7', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd) 1.1'. 'Tipo de Análisis' is 'Calculación D' with 'W18 = 1.42E6'. The 'Espesor de losa (plg)' is 'D = 2.0'. Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are at the bottom.

Fuente: Elaboración propia.

Para los ejes equivalentes actuales se obtuvo un valor de 2 pulgadas que son 5,08 cm, adoptaremos 6,7 pulgadas ya que en Bolivia el espesor mínimo de losa es de 17 cm.

Figura 3.79 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para automóviles y vagonetas en la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 2 pulgadas que son 5,08 cm, adoptaremos 6,7 pulgadas ya que en Bolivia el espesor mínimo de losa es de 17 cm.

Figura 3.80 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para minibuses (hasta 15 pasajeros) en la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 2 pulgadas que son 5,08 cm, adoptaremos 6,7 pulgadas ya que en Bolivia el espesor mínimo de losa es de 17 cm.

Figura 3.81 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes) en la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 90 % $Z_r=-1.282$ So 0.49

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial 4.2 PSI final 2.5

Módulo de reacción de la subrasante: k 217.78 pci

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) 3770981 Coeficiente de transmisión de carga - (J) 2.7

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) 652.7 Coeficiente de drenaje - (Cd) 1.1

Tipo de Análisis: Calcular D $W_{18} = 7.35E+07$ Calcular W_{18}

Espesor de losa (plg): D = 12.8

Calcular Salir

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 12,8 pulgadas que son 32,51 cm.

Figura 3.82 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes) en la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 90 % $Z_r=-1.282$ So 0.49

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial 4.2 PSI final 2.5

Módulo de reacción de la subrasante: k 217.78 pci

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) 3770981 Coeficiente de transmisión de carga - (J) 2.7

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) 652.7 Coeficiente de drenaje - (Cd) 1.1

Tipo de Análisis: Calcular D $W_{18} = 1.67E+08$ Calcular W_{18}

Espesor de losa (plg): D = 14.5

Calcular Salir

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 14,5 pulgadas que son 36,83 cm.

Figura 3.83 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes) en la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 90 % $Z_r = -1.282$ So: 0.49

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

Módulo de reacción de la subrasante: k: 217.78 pci

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): 3770981 Coeficiente de transmisión de carga - (J): 2.7

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): 652.7 Coeficiente de drenaje - (Cd): 1.1

Tipo de Análisis: Calcular D **W18 = 1.15E+08** Calcular W18

Espesor de losa (plg): **D = 13.7**

Botones: Calcular, Salir

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 13,7 pulgadas que son 34,80 cm.

Figura 3.84 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones remolque en la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 90 % $Z_r = -1.282$ So: 0.49

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

Módulo de reacción de la subrasante: k: 217.78 pci

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): 3770981 Coeficiente de transmisión de carga - (J): 2.7

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): 652.7 Coeficiente de drenaje - (Cd): 1.1

Tipo de Análisis: Calcular D **W18 = 2.73E+08** Calcular W18

Espesor de losa (plg): **D = 15.6**

Botones: Calcular, Salir

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 15,6 pulgadas que son 39,62 cm.

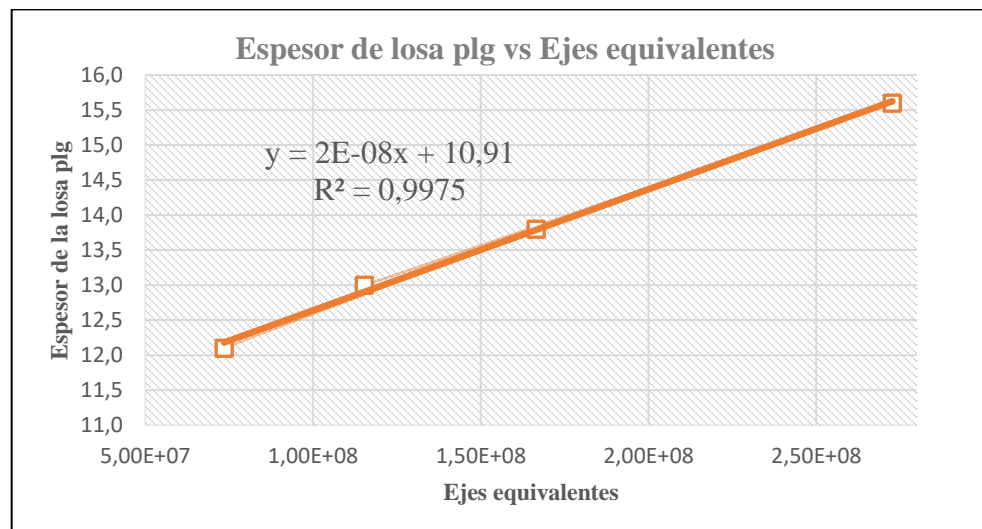
3.6.3.2 Resultados de ejes equivalentes y espesores totales de la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Tabla N° 3.72 Tabla de resultados obtenidos de la Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón

Tipo de vehículo	Ejes equivalentes 2042	Espesor de la losa (plg)	Espesor de la losa (plg)
Automóviles y vagonetas	2,24E+04	2	6,7
Minibuses	6,77E+04	2	6,7
Buses medianos	7,35E+07	12,1	12,1
Camiones grandes (de 2 ejes)	1,67E+08	13,8	13,8
Camiones grandes (de 3 ejes)	1,15E+08	13	13
Camiones remolque	2,73E+08	15,6	15,6
Ejes equivalentes actuales	1,34E+06	2	6,7

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.85 Gráfica de ejes equivalentes vs espesor de losa Av. Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón



Fuente: Elaboración propia.

Para nuestra gráfica de espesores de losa vs ejes equivalentes se descartó los primeros dos valores debido a que no son tan representativos y podrían modificar nuestro ajuste de curva, dándonos como resultado una ecuación lineal.

3.6.4 Valores de los ejes equivalentes de los vehículos más representativos Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Tabla N° 3.73 Valores de los ejes equivalentes de los vehículos más representativos Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Tipo de vehículo	Ejes equivalentes 2042
Automóviles y vagonetas	2,23E+04
Minibuses	6,74E+04
Buses medianos	7,32E+07
Camiones grandes (de 2 ejes)	1,66E+08
Camiones grandes (de 3 ejes)	1,15E+08
Camiones remolque	2,71E+08
Ejes equivalentes actuales	1,24E+06

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4.1 Cálculo del espesor de losa actuales y de los vehículos más representativos de la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Figura 3.86 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para los ejes equivalentes actuales en la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The 'Tipo de Pavimento' is set to 'Pavimento rígido'. 'Confianza (R) y Desviación estándar (So)' is set to '90 % Zr=-1.282' and 'So = 0.49'. 'Serviciabilidad inicial y final' shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.5'. 'Módulo de reacción de la subrasante' is 'k = 217.78 pci'. Under 'Información adicional para pavimentos rígidos', 'Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi)' is 3770981, 'Módulo de rotura del concreto - S_c (psi)' is 652.7, 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)' is 2.7, and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)' is 1.1. Under 'Tipo de Análisis', 'Calcular D' is selected, showing 'W18 = 1.42E6' and 'Espesor de losa (plg) D = 2.0'. Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are at the bottom.

Fuente: Elaboración propia.

Para los ejes equivalentes actuales se obtuvo un valor de 2 pulgadas que son 5,08 cm, adoptaremos 6,7 pulgadas ya que en Bolivia el espesor mínimo de losa es de 17 cm.

Figura 3.87 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para automóviles y vagonetas en la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 2 pulgadas que son 5,08 cm, adoptaremos 6,7 pulgadas ya que en Bolivia el espesor mínimo de losa es de 17 cm.

Figura 3.88 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para minibuses (hasta 15 pasajeros) en la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 2 pulgadas que son 5,08 cm, adoptaremos 6,7 pulgadas ya que en Bolivia el espesor mínimo de losa es de 17 cm.

Figura 3.89 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes) en la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 90 % $Z_r = -1.282$ So 0.49

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.5

Módulo de reacción de la subrasante
 k 217.78 pci

Información adicional para pavimentos rígidos
 Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) 3770981
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) 652.7
 Coeficiente de transmisión de carga - (J) 2.7
 Coeficiente de drenaje - (Cd) 1.1

Tipo de Análisis
 Calcular D $W_{18} = 7.32E+07$
 Calcular W_{18}

Espesor de losa (plg)
 D = 12.8

Calcular Salir

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 12,8 pulgadas que son 32,51 cm.

Figura 3.90 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes) en la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 90 % $Z_r = -1.282$ So 0.49

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.5

Módulo de reacción de la subrasante
 k 217.78 pci

Información adicional para pavimentos rígidos
 Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) 3770981
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) 652.7
 Coeficiente de transmisión de carga - (J) 2.7
 Coeficiente de drenaje - (Cd) 1.1

Tipo de Análisis
 Calcular D $W_{18} = 1.66E+08$
 Calcular W_{18}

Espesor de losa (plg)
 D = 14.5

Calcular Salir

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 14,5 pulgadas que son 36,83 cm.

Figura 3.91 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes) en la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 13,7 pulgadas que son 34,80 cm.

Figura 3.92 Análisis de cálculo del espesor de losa en el software Ecuación AASHTO 93 para camiones remolque en la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un valor de 15,6 pulgadas que son 39,62 cm.

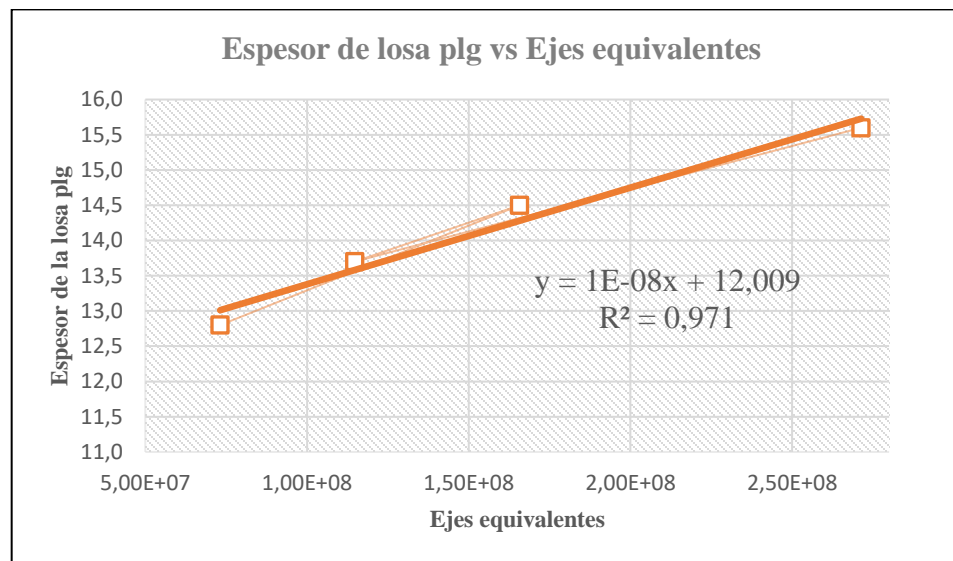
3.6.4.2 Resultados de ejes equivalentes y espesores totales de la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Tabla N° 3.74 Tabla de resultados obtenidos de la Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz

Tipo de vehículo	Ejes equivalentes 2042	Espesor de la losa (plg)	Espesor de la losa (plg)
Automóviles y vagonetas	2,23E+04	2	6,7
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	6,74E+04	2	6,7
Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	7,32E+07	12,8	12,8
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	1,66E+08	14,5	14,5
Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	1,15E+08	13,7	13,7
Camiones remolque	2,71E+08	15,6	15,6
Ejes equivalentes actuales	1,24E+06	2	6,7

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.93 Gráfica de ejes equivalentes vs espesor de losa Av. Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz



Fuente: Elaboración propia.

Para nuestra gráfica de espesores de losa vs ejes equivalentes se descartó los primeros dos valores debido a que no son tan representativos y podrían modificar nuestro ajuste de curva, dándonos como resultado una ecuación lineal.

3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de los resultados correspondientes al planteo de la problemática, se demuestra, luego de calcular la situación actual de los diferentes pavimentos estudiados se puede evidenciar el efecto que produce la carga como eje equivalente en el pavimento, donde se comprobó lo que se esperaba que al aumentar los ejes equivalentes se aumenta el espesor del pavimento como se pudo demostrar en el cálculo del software Ecuación AASHTO 93.













Para estos tipos de pavimentos se tomó los conceptos principales de un pavimento flexible y rígido guiados en las normas establecidas para el diseño como ser las normas AASHTO y ABC, tanto para el estudio de tráfico como para el diseño específico del paquete estructural.

Se hizo el cálculo para los ejes equivalentes de los pavimentos flexibles y rígidos en el año actual proyectándolo a 20 años, lo que nos resultó para el año 2042, solo se realizó para tener una referencia del cálculo ya que el efecto se pudo evidenciar al aumentar y disminuir los ejes equivalentes asumiendo que un mismo tipo de vehículo llegaría a circular por cada subtramo todo el día, lo que nos demostró que si la carga aumenta también aumentan los ejes equivalentes y con estos aumenta los espesores de dichos pavimentos, se realizó el dimensionamiento del paquete estructural tomando valores basándonos específicamente en la norma AASHTO 93.

Los resultados obtenidos existen altas variaciones, que son debidas a la carga variable que efectuamos para poder observar el efecto que podría producir en nuestros pavimentos, al aumentar nuestros ejes equivalentes, deberíamos aumentar considerablemente nuestro paquete estructural, lo que nos haría disminuir la vida útil de dicho pavimento.

Haciendo una comparación de nuestros Ejes equivalentes calculados (EE), con los valores de los ejes equivalentes de los vehículos más representativos obtuvimos los siguientes datos:

Tabla N° 3.75 Tabla resumen del efecto de carga ejes equivalentes de los vehículos tipo más representativos

Resumen de ejes equivalentes de todos los pavimentos estudiados								
Variación de los ejes equivalentes		EE1	EE2	EE3	EE4	EE5	EE6	
Pavimento flexible		EE						
Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario	1,28E+06	2,38E+04	7,19E+04	7,80E+07	1,77E+08	1,22E+08	2,90E+08	
Avenida Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín	9,73E+05	2,30E+04	6,96E+04	7,56E+07	1,71E+08	1,19E+08	2,80E+08	
Pavimento rígido		EE						
Avenida Circunvalación entre la Avenida Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte	1,42E+06	2,04E+04	6,15E+04	6,68E+07	1,51E+08	1,05E+08	2,48E+08	
Avenida Circunvalación entre Avenida Froilán Tejerina y la calle Colón	1,34E+06	2,24E+04	6,77E+04	7,35E+07	1,67E+08	1,15E+08	2,73E+08	
Avenida Circunvalación entre la calle Colón y Avenida La Paz	1,24E+06	2,23E+04	6,74E+04	7,32E+07	1,66E+08	1,15E+08	2,71E+08	









Fuente: Elaboración propia.





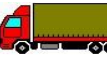



Como podemos observar en nuestra planilla de cálculo, realizando una comparación de nuestros ejes equivalentes (EE), con los valores de los ejes equivalentes de los vehículos más representativos podemos observar que el efecto que produce EE1 y EE2 no son valores tan

representativos ya que se encuentran muy por debajo del valor de los ejes equivalentes calculados (EE), es por eso que la norma AASHTO ya no toma en cuenta los valores de automóviles y minibuses en su cálculo de ejes equivalentes.

Sin embargo, a partir de EE3 hasta EE6 son valores considerables, que se encuentra muy por encima del valor calculado de los ejes equivalentes (EE), es por eso que la norma AASHTO se basa principalmente en vehículos pesados para su cálculo de ejes equivalentes, ya que estos demuestran mayor incidencia y muestran un efecto más importante en los diferentes tipos de pavimentos.

Tabla N° 3.76 Tabla Resumen de espesores de los vehículos tipo más representativos, espesor proyectado y espesor actual en centímetros

Subtramo	Tipo de capa	Automóvil y vagoneta	Minibús	Microbuses	Camión grande (de 2 ejes)	Camión grande (de 3 ejes)	Camión remolque	Espesor proyectado al 2042	Espesor Actual
Pavimento flexible									
Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bolívar y puente Bicentenario	Rodadura	5	5	5	5	5	5	5	8
	Base	15	15	15	15	15	15	15	15
	Subbase	0	3	93	109	102	119	31	15
	Total de la estructura	20	23	113	129	122	139	51	38
Av. Víctor Paz Estenssoro entre puente Bicentenario y puente San Martín	Rodadura	5	5	5	5	5	5	5	8
	Base	15	15	15	15	15	15	15	15
	Subbase	0	3	93	109	102	119	28	15
	Total de la estructura	20	23	113	129	122	139	48	38

Pavimento rígido	Losa								
Av. Circunvalación entre la Av. Froilán Tejerina hasta llegar a la ruta de la carretera Norte	Total de la estructura	17	17	30	35	33	39	17	21
Av. Circunvalación entre Av. Froilán Tejerina y la calle Colón	Total de la estructura	17	17	32	36	34	39	17	21
Av. Circunvalación entre la calle Colón y Av. La Paz	Total de la estructura	17	17	32	36	34	39	17	21

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en nuestra planilla de cálculo, realizando una comparación de nuestros espesores actuales con los valores de los espesores de los vehículos más representativos podemos observar que el efecto que produce EE1 y EE2 no son valores representativos

Como podemos observar en nuestra planilla de cálculo, realizando una comparación de nuestros espesores actuales con los valores de los espesores de los vehículos más representativos podemos observar que el efecto que produce EE1 y EE2 no son valores representativos.

En pavimento flexible

Capa de rodadura= 2 pulgadas (5 cm.)

Capa base= 6 pulgadas (15 cm.)

Capa subbase= 0 no necesita

En pavimento rígido

Espesor de losa= 6,69 pulgadas (en Bolivia el espesor mínimo de construcción de losa es de 6,69 plg= 17 cm.)

Es por eso que la norma AASHTO ya no toma en cuenta los valores de automóviles y minibuses en su cálculo de ejes equivalentes ya que solo se necesita los valores mínimos para su construcción.

Sin embargo, a partir de EE3 hasta EE6 son valores muy altos, ya que los espesores aumentan considerablemente sus valores, esto debido a la carga que va aumentando lo que hace requerir un espesor mayor para poder soportar la sollicitación de dichos ejes equivalentes, es por eso que la norma AASHTO se basa principalmente en vehículos pesados para su cálculo de ejes equivalentes, ya que estos demuestran mayor incidencia y muestran un efecto más importante en los diferentes tipos de pavimentos.

En relación a los espesores proyectados al 2042 con los espesores con los que fueron diseñados los pavimentos estudiados podemos mencionar:

En caso del tramo de la Av. Víctor Paz Estenssoro se necesita considerablemente aumentar su espesor debido al gran número de ejes equivalentes que pasa por la misma, ya que para el año 2042 la estructura necesitara elevar aproximadamente el doble de su espesor inicial.

En caso del tramo de la Av. Circunvalación se necesita aumentar su espesor sin embargo no es de gran impacto debido a que el número de ejes equivalentes que pasa por la misma no afecta en gran magnitud dicha Avenida sin embargo se debe realizar el mantenimiento constante y mejorar la educación vial de manera que el daño no sea de consideración.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Realizada la aplicación del proyecto se llegó a las siguientes conclusiones:

Cumplimos el objetivo general de Analizar el efecto en la variación de carga como ejes equivalentes en el diseño estructural de pavimentos flexible y rígido mediante el método AASHTO 93.

Para poder identificar los tramos del proyecto es importante la visualización de las Avenidas más transitadas y más importantes que tiene la ciudad de Tarija ya que pudimos observar con mayor precisión el efecto que produce las cargas como ejes equivalentes en dichas Avenidas, en nuestro país generalmente el diseño de pavimentos flexibles y rígidos se realiza con el método AASHTO, pero los parámetros de este método es producto de ensayos y estudios realizados a una carretera experimental tipo realizada en EE. UU

Se pudo demostrar y recopilar información y datos relevantes de las normativas y especificaciones técnicas de pavimento flexible y rígido en Bolivia

Se realizó el cálculo de los factores de equivalencias teniendo en cuenta los tipos de ejes (simple, tándem, trídem), observando como varían estos factores de acuerdo al peso del mismo.

Se calculó los factores de carga, crecimiento y de dirección para cada uno de los tipos de vehículos en su respectiva configuración llegando a obtener valores que nos permitieron realizar la observación de nuestro efecto. Se elaboró pruebas de variación de carga en cálculos de ejes equivalentes, que afectan al dimensionamiento para pavimento flexible y rígido donde pudimos concluir que, a mayores ejes equivalentes, mayor es nuestro espesor de pavimento.

Se determinó curvas de comportamiento de espesores totales vs ejes equivalentes, donde observamos las gráficas y ecuaciones y cómo actúan estas a medida que los valores van cambiando.

Por todo lo analizado en ambos pavimentos se llegó a la conclusión que el efecto que produce la variación de carga como ejes equivalentes en la estructura del mismo es proporcional mientras más aumenta la carga, mayor es su espesor, disminuyendo su vida útil que fue diseñada.

4.2 RECOMENDACIONES DEL PROYECTO

Realizada la aplicación del proyecto se llegó a las siguientes recomendaciones:

Para el diseño de pavimentos flexibles y rígido se recomienda seguir una secuencia de los procedimientos de cálculo del Método AASHTO, teniendo en cuenta todas las normas con las cuales se trabaja en el proyecto ya que de esto dependerá la realización adecuada del mismo.

Tener mucho cuidado en el aforo de los vehículos que transitan por las vías, ya que de ello depende el cálculo de los ejes equivalentes para el dimensionamiento del pavimento.

Se debe realizar indagaciones más profundas sobre diseño de pavimentos en Bolivia y en la ciudad de Tarija para obtener resultados efectivos, y además para poder obtener mejores dimensionamientos al momento de calcular los espesores totales de los pavimentos.

Es necesario un adecuado uso de los pavimentos desde el momento del uso de servicio, es necesario que los pavimentos sean utilizados de acuerdo a las cargas con las cuales fueron diseñadas ya que si se altera las mismas y se aumentan provocan una disminución considerable de su vida útil.

Es importante determinar los parámetros de diseño con las características de la zona de estudio, mucho depende consultar de la experiencia de ingenieros que diseñaron y construyeron vías con pavimento flexible y rígido para no recurrir a las ecuaciones empíricas o adoptar algunos valores que no sea posible determinar.

Se debe realizar indagaciones más profundas sobre ambos métodos para obtener resultados efectivos, relacionar ambos métodos para poder obtener mejores dimensionamientos de los pavimentos con materiales no convencionales.

Si bien mediante la tecnología se facilitaron los cálculos y nos ahorramos tiempo es importante recomendar que antes de usar cualquier software se debe realizar un amplio análisis sobre la metodología y procedimiento de cálculo para usarlo como una herramienta de diseño.

Por último, podemos decir que no existe ningún método que sea recomendado para el diseño de pavimentos flexibles y rígidos en nuestro medio por lo que se puede usar cualquier método de diseño siempre y cuando se tenga una buena información de datos y una buena metodología de cálculo.