

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

TRABAJO DE TITULACIÓN

**VARIACIÓN DEL MODELO DE CARGAS POR EJE MTOP PARA CAMIONES
PESADOS EXAMINANDO MUESTRAS DEL TRÁNSITO EN LA
CIRCUNVALACIÓN DE RIOBAMBA.**

Autores:

Daniel Alejandro Orozco Rosas

Jhenifer Karina Riera Damián

Tutor:

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza Mgs.

Riobamba – Ecuador

Año 2021-2022

REVISIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:
VARIACIÓN DEL MODELO DE CARGAS POR EJE MTOP PARA CAMIONES
PESADOS EXAMINANDO MUESTRAS DEL TRÁNSITO EN LA
CIRCUNVALACIÓN DE RIOBAMBA

Presentado por: Daniel Alejandro Orozco Rosas y Jhenifer Karina Riera Damián.

Dirigido por: Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza Mgs.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH. Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Vladimir Pazmiño Chiluiza, Mgs.

Tutor del proyecto



Firmado electrónicamente por:
**HERNAN VLADIMIR
PAZMIÑO
CHILUIZA**

Ing. Ángel Paredes García, Mgs.

Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
**ANGEL EDMUNDO
PAREDES GARCIA**

Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar, Mgs.

Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
**JORGE EUGENIO
NUÑEZ VIVAR**

DECLARACIÓN EXPRESA DE LA TUTORÍA

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del grado de INGENIERO CIVIL, con el tema: **“VARIACIÓN DEL MODELO DE CARGAS POR EJE MTOP PARA CAMIONES PESADOS EXAMINANDO MUESTRAS DEL TRÁNSITO EN LA CIRCUNVALACIÓN DE RIOBAMBA.”**, ha sido elaborado por Daniel Alejandro Orozco Rosas y Jhenifer Karina Riera Damián, el mismo que ha sido revisado y analizado en un cien por ciento con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que se encuentran apta para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.



Firmado electrónicamente por:

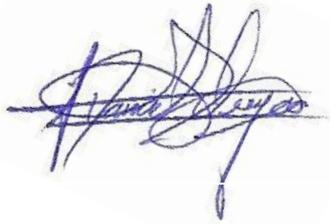
**HERNAN
VLADIMIR
PAZMIÑO
CHILUIZA**

Ing. Vladimir Pazmiño, Mgs.
Tutor del proyecto

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Daniel Alejandro Orozco Rosas, con cédula de identidad N° 060393024-9, y Jhenifer Karina Riera Damián, con cédula de identidad N° 140079782-3, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil, somos responsable de las ideas, doctrinas, resultados y propuesta realizada en la presente investigación, titulada: **“VARIACIÓN DEL MODELO DE CARGAS POR EJE MTOP PARA CAMIONES PESADOS EXAMINANDO MUESTRAS DEL TRÁNSITO EN LA CIRCUNVALACIÓN DE RIOBAMBA”**, dirigida por el Tutor del proyecto, Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza, Mgs.

En virtud de ello, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de conclusiones, con el aporte de varios autores que se han referido adecuadamente en el contenido del documento.



Daniel Alejandro Orozco Rosas

C.I 060393024-9



Jhenifer Karina Riera Damián

C.I 140079782-3

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios Padre guía y protector de mi vida, ya que gracias a su amor he logrado alcanzar una meta importante que en un principio ansiaba lograr. A mi padre por ayudarme a crecer en todo momento, por su cariño y sus enseñanzas que en cada momento me han servido para tomar decisiones en mi vida, a mi madre por ser la ternura que llena mi alma y sé que en todo lo que logre será un orgullo verme alcanzar cada momento en mi vida. A hermano, sobrinos, primos y tíos que, a pesar de ser numerosos, cada quien tiene una esencia que lo hace único y que es la razón principal por lo que los amo y llevo en mi corazón. Finalmente dedico a cada amigo que se ha transformado en un hermano o hermana que me ha levantado en cada instante y apoyado a lo largo de mi vida, gracias por todo.

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por haberme regalado la vida y permitirme el haber culminado esta gran etapa de mi formación profesional. A mis padres quienes han sido el pilar fundamental y por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional. A mi tía Jimena, a quien quiero demasiado, por compartir momentos muy significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento. A Thalía, porque te amo infinitamente hermana del alma. A mi esposo quien me apoyo y alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir. A mi abuela María Arévalo, ¡mi mami María!, por siempre inculcarme a ser mejor cada día, a superarme en todos los aspectos de la vida, por ese amor infinito que me ha regalado desde niña. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Daniel Alejandro Orozco Rosas

Jhenifer Karina Riera Damián

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios Padre guía y protector de nuestras vidas, ya que gracias a su amor hemos logrado alcanzar nuestras metas que en un principio ansiábamos alcanzar. A nuestros padres, por ser nuestro más grande ejemplo de esfuerzo y dedicación, gracias por brindarnos la vida y su protección, a nuestros hermanos por ser nuestra compañía en cada momento y estar siempre a nuestro lado y que, a pesar de la distancia, podremos confiar en ustedes. A nuestra familia por ser el núcleo de nuestros corazones y refugio de paz. A nuestro tutor, gracias por el tiempo que nos ha dedicado, por su guía y sabiduría a lo largo de este proyecto de investigación, por último, a nuestros amigos que a lo largo de nuestras vidas estudiantiles hemos logrado conocer, gracias por cada momento inolvidable, locuras, días de trabajo y momentos que han llegado a ser parte de nuestros corazones.

Daniel Alejandro Orozco Rosas

Jhenifer Karina Riera Damián

ÍNDICE GENERAL

REVISIÓN DEL TRIBUNAL	II
DECLARACIÓN EXPRESA DE LA TUTORÍA	III
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE FIGURAS	XI
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
I. INTRODUCCIÓN	15
1.1 OBJETIVOS	16
Objetivo general	16
Objetivos específicos	16
II. MARCO TEÓRICO	17
2.1 TRÁNSITO	17
2.1.1 Composición del tránsito	17
2.1.2 Tipos de ejes	17
2.1.3 Pesos en ejes	17
2.1.4 Tráfico Promedio Diario Anual	18
2.1.5 Tráfico Generado	18
2.1.6 Tráfico Desarrollado	18
2.1.7 Tráfico Diario Asignado	18
2.1.8 Tráfico Proyectado o Futuro	18
2.2 PAVIMENTO	19
2.2.1 Pavimentos Rígidos	19
2.2.2 Diseño de Pavimento Rígido	19
2.2.3 Espesor de Losa Para Pavimento Rígido	20
2.2.4 Período De Diseño	32
2.3 EJES ESTÁNDAR EQUIVALENTES DE CARGA (ESAL`S)	32
2.3.1 Factores equivalentes de carga (LEF)	32
2.3.2 Factor camión	33

2.3.3 Espectros de Carga	33
III. METODOLOGÍA	34
3.1 DIAGRAMA METODOLÓGICO	34
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	35
3.3 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA	35
IV. RESULTADOS	36
4.1 CÁLCULO DE LA MUESTRA	36
4.2 PESAJE VEHICULAR	37
4.3 CONTEO VEHICULAR Y CÁLCULO DE TPDA	41
4.3.1 Ubicación De Estudio	41
4.3.2 Conteo Vehicular	43
4.3.3 Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS)	45
4.3.4 Tráfico Promedio Diaria Anual (TPDA)	46
4.3.5 Tráfico Futuro	48
4.3.6 Tasa De Crecimiento	48
4.3.7 Cálculo Del Tráfico Futuro	49
4.3.8 Distribución Promedio De Vehículos Pesados	50
4.3.9 Factor De Carga Equivalente	51
4.3.10 Número De Ejes Equivalentes	55
Comparación de Espesor Para Pavimento Rígido	58
V. DISCUSIÓN	64
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
VII. BIBLIOGRAFÍA	67
VIII. ANEXOS	69
Anexo 1. Oficio Agencia Nacional de Tránsito	69
Anexo 2. Muestra población finita	70
Anexo 3. Conteo Vehicular Diario	70
Anexo 4. Cargas por ejes (datos de Investigación)	74
Anexo 5. Cálculo del TPDA	81
Anexo 6. Pesaje de Vehículos Pesados	83
Anexo 7. Valores Recomendados para el Módulo de Rotura	89
Anexo 8. Espesor de Losa en la Circunvalación de Riobamba	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tasa de crecimiento vehicular	19
Tabla 2 Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia.....	22
Tabla 3 Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto	22
Tabla 4 Denominación del sistema de transferencia de cargas y confinamiento lateral	23
Tabla 5 Valores de resistencias a la flexotracción del concreto (Módulo de Rotura)	23
Tabla 6 Categorías de tránsito para la selección de espesores	23
Tabla 7 Siglas - Significado	23
Tabla 8 Variables consideradas en los análisis de diseño del pavimento.....	25
Tabla 9 Espesor de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables T0	25
Tabla 10 Espesor de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables T1	26
Tabla 11 Espesor de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables T2	27
Tabla 12 Espesor de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables T3	28
Tabla 13 Espesor de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables T4	29
Tabla 14 Espesor de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables T5	30
Tabla 15 Espesor de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables T6	31
Tabla 16 Periodo de diseño	32
Tabla 17 Nivel de Confianza	36
Tabla 18 Tabla Nacional de Pesos Y Dimensiones	38
Tabla 19 Cargas por eje promedio aforado mediante pesaje vehicular.....	40
Tabla 20 Clasificación Vehicular para Conteo y TPDA	44
Tabla 21 Conteo Vehicular Semanal	45
Tabla 22 Tasas de Crecimiento Vehicular (%).....	49

Tabla 23 Variables para el cálculo del Tráfico Futuro	49
Tabla 24 Tráfico Futuro Calculado	50
Tabla 25 Composición de vehículos pesados en el TPDA actual	50
Tabla 26 Porcentaje de vehículos pesados en el aforo vehicular determinado	51
Tabla 27 Carga comparativa de ejes para buses en toneladas	52
Tabla 28 Carga de ejes para camiones de 2 ejes en toneladas.....	52
Tabla 29 Carga de ejes para camiones de 3 ejes en toneladas.....	53
Tabla 30 Carga de ejes para camiones articulados en toneladas	53
Tabla 31 Factor de Carga Equivalente resultado de la investigación.....	53
Tabla 32 Factor de Carga Equivalente resultado de la normativa.....	54
Tabla 33 Diferencia entre valores de investigación vs normativa para el factor de carga equivalente.....	54
Tabla 34 Valores de %TCD.....	55
Tabla 35 Número de ejes equivalentes con valores de la investigación.....	56
Tabla 36 Número de ejes equivalentes con valores de la normativa.....	57
Tabla 37 Número de ejes equivalentes con valores de la investigación.....	57
Tabla 38 Número de ejes equivalentes con valores de la normativa.....	57
Tabla 39 Total de número de ejes equivalentes con valores de la normativa	58
Tabla 40 Categorías de tránsito para la selección de espesores	59
Tabla 41 Variables y características para determinar espesor según la investigación	60
Tabla 42 Variables y características para determinar espesor según la normativa	60
Tabla 43 Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T6 como factor principal	61
Tabla 44 Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T4 como factor principal	62
Tabla 45 Espesores calculados en cm (Investigación vs Normativa).....	63
Tabla 46 Cálculo de la muestra	70
Tabla 47 Conteo Vehicular Día Lunes	70
Tabla 48 Conteo Vehicular Día Martes	71
Tabla 49 Conteo Vehicular Día Miércoles	71
Tabla 50 Conteo Vehicular Día Jueves	72
Tabla 51 Conteo Vehicular Día Viernes.....	72
Tabla 52 Conteo Vehicular Día Sábado	73
Tabla 53 Conteo Vehicular Día Domingo.....	73

Tabla 54 Datos de pesajes por Ejes de los Vehículos de Chasis Rígidos y Articulado	74
Tabla 55 Cálculo de tráfico futuro para vehículos tipo livianos	81
Tabla 56 Cálculo de tráfico futuro para vehículos tipo buses	81
Tabla 57 Cálculo de tráfico futuro para vehículos tipo pesados	82
Tabla 58 Cálculo de tráfico promedio diario anual de vehículos tipo pesados desglosados	83
Tabla 59 Módulo de Rotura Recomendado	89

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 Capas del pavimento rígido	20
Figura 2 Esquema representativo del pavimento de concreto	22
Figura 3 Esquema del procedimiento metodológico	34
Figura 4 Pesaje Eje Delantero de un Vehículo de Chasis Rígido	39
Figura 5 Pesaje Total de un Vehículo de Chasis Rígido	39
Figura 6 Pesaje Eje Dual o Tándem de un Vehículo de Chasis Rígido	39
Figura 7 Pesaje de un Vehículo de Chasis Articulado	40
Figura 8 Pantalla de Báscula con el Pesaje de Vehículo de Chasis Rígido	40
Figura 9 Pantalla de Báscula con el Pesaje de Vehículo de Chasis Articulado	41
Figura 10 Av. Pedro Vicente y av. Monseñor Leónidas Proaño, Sector Media Luna, Vías y Sentidos de estudio	42
Figura 11 Av. Pedro Vicente y av. Monseñor Leónidas Proaño, Sector Media Luna	42
Figura 12 Cámaras colocadas en puntos estratégicos con buena visibilidad	42
Figura 13 Instalación de equipos de Grabación	43
Figura 14 Extracción de videos	43
Figura 15 Representación de carriles y valores de porcentajes para carril de diseño (%TCD)	56
Figura 16 Espectro de carga	58
Figura 17 Pesaje de Vehículo tipo Sencillo en báscula de la empresa 1	83
Figura 18 Pesaje de Vehículo tipo Tándem en báscula de la empresa 1	84
Figura 19 Pesaje de Vehículo tipo Articulado en báscula de la empresa 1	84
Figura 20 Báscula de la empresa 1	84

Figura 21 Av. Pedro Vicente y av. Monseñor Leónidas Proaño, Sector Media Luna donde se realizó el conteo vehicular.....	85
Figura 22 Av. Pedro Vicente y av. Monseñor Leónidas Proaño, Sector Media Luna donde se realizó el conteo vehicular.....	85
Figura 23 Vehículo tipo Tráiler esperando carga en la empresa 2	85
Figura 24 Certificado de Operación del Vehículo.....	86
Figura 25 Datos Autorizados para el Transporte Pesado	86
Figura 26 Pantalla de pesaje con carga de la empresa 2.....	86
Figura 27 Pantalla de pesaje con carga de la empresa 1.....	87
Figura 28 Pesaje de Vehículo tipo Tráiler en báscula de la empresa 2	87
Figura 29 Carretera panamericana sur planta principal de la empresa 2.....	87
Figura 30 Control y monitoreo vehicular a través de las cámaras utilizadas para el conteo vehicular	88
Figura 31 Espesor de Losa en la Circunvalación de Riobamba	89

RESUMEN

Este trabajo de investigación presenta los resultados obtenidos de la evaluación y comparación del espesor del pavimento rígido en la circunvalación de la ciudad de Riobamba utilizando procedimientos de retroalimentación para verificar si las cargas expresadas en función del número de repeticiones del eje simple equivalente de carga alcanzan los valores proyectados según la normativa MTOP al final del horizonte de diseño.

La investigación se enfoca en valorar las diferencias entre la distribución máxima de carga por eje indicada en la normativa MTOP para pesos y medidas; y los resultados de la medición de ejes cargados en varios tipos de vehículos pesados registrados en las básculas de las industrias del sector.

Se ejecutó una técnica investigativa que se desarrolla en base a la revisión bibliográfica y es complementada con estudio en campo basado en la observación y recolección de datos in-situ. Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron cámaras de video para el aforo del tráfico que circula en la av. Pedro Vicente & av. Monseñor Leónidas Proaño, sector de la media luna, uno de los nodos principales de la ciudad perteneciente a la circunvalación de Riobamba. Por otra parte, en la obtención de los pesajes, se tuvo el acceso a las básculas de las industrias del sector productivo de la ciudad como se indica en el anexo 6 (figura 20 y figura 28), el aforo se realizó en base a una muestra estadística y sus datos se analizaron para valorar el tránsito que se aplica al pavimento.

De esta forma se compara la estructura del pavimento rígido con los espesores existentes utilizando una proyección de carga del tránsito pesado según los valores investigados para el final del periodo de vida propuesto para el año 2031.

Palabras Clave: pesaje, báscula, TPDA, ESAL's, W_{18} , Factor de Equivalencia por Eje, EAF, LEF.

ABSTRACT

This research evaluated the thickness of the rigid pavement found in the City of Riobamba (Ecuador) bypass using feedback procedures to evaluate load distributions and whether the results were within the recommended values of the Ministry of Transport and Public Works (MTPW).

The research focused on assessing the differences between the maximum axle load distribution indicated in the MTPW regulations for weights and measures and the results of the measurement of loaded axles in various types of heavy vehicles registered in the scales of the industries in the sector.

An investigative technique was carried out developing based on a bibliographic review and is complemented by a field study based on observation and in-situ data collection. Video cameras were used to measure the traffic that circulated on Avenue Pedro Vicente and Avenue Monseñor Leónidas Proaño in the Media Luna sector which is one of the main areas of the Riobamba bypass. weighing was obtained by the access to the scaled of the industries of productive sector of the city as is indicated in annex 6 (figure 20 and figure 28), the capacity was made based on a statistical sample and its data was analyzed to assess the traffic travels on the pavement.

In this way, the structure of the rigid pavement is compared to the existing thickness using a heavy traffic load projection according to the values investigated at the end of the life period proposed for the year 2031.

Keywords: Weighing, Scale, TPDA, E

SAL's, W_{18} , Axle Equivalence Factor, EAF, LEF.

MONICA
ALEXANDRA
CASTELO REYNA



Firmado digitalmente
por MONICA
ALEXANDRA CASTELO
REYNA
Fecha: 2022.03.02
19:29:47 +01'00'

Reviewed by:
Mgs. Castelo Reyna Mónica.
ENGLISH PROFESSOR
C.C: 060453982-5

I. INTRODUCCIÓN

En el diseño estructural del pavimento es necesario conocer varios factores que intervienen en el cálculo, principalmente las cargas, las cuales va a depender del tipo, tamaño y peso de los vehículos que transitan por la carretera; de esta forma garantizar el tiempo de vida útil para la cual fue diseñada.

Para medir la carga vehicular, es necesario trasladar el pesaje de los vehículos obtenidos mediante estaciones fijas, a número de aplicaciones de ejes equivalentes “ESAL” (Equivalent Simple Axial Load) los cuales están determinados por la cantidad de repeticiones del eje de carga para un periodo de tiempo determinado; este proceso indicará la carga que supera lo permitido por la normativa ecuatoriana NEVI-12.

La ciudad de Riobamba no cuenta con una estación de control (pesos y medidas), y consecuentemente no existe supervisión en los pesos de transporte de carga pesada que son los que alteran las condiciones de la estructura del pavimento; por tal motivo se hace necesario realizar un análisis con los registros tomados por la empresa 1 y empresa 2 para comparar con la norma nacional que rige actualmente la cual es manejada por el MTOP para proponer una alternativa en la estimación de cargas para el dimensionamiento de la estructura vial en la ciudad de Riobamba.

Los vehículos de carga sin duda son muy utilizados por empresas para el transporte de su mercadería, dentro de estos automotores mayormente encontramos los camiones de chasis rígido y articulado.

Por tal motivo se considera necesario realizar la comparación de las cargas por eje reales tomados de los camiones de chasis rígido y articulado versus las cargas teóricas establecidos por la norma NEVI-12 (2013) y constatar la realidad del cumplimiento o incumplimiento de esta normativa y de esta forma brindar información para que el posterior mantenimiento y diseño de nuevas vías que cuenten con esta base de datos.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar las variaciones en el modelo de cargas por eje establecido por la normativa nacional para camiones pesados versus las cargas generadas por el tránsito en la circunvalación de la ciudad de Riobamba.

Objetivos específicos

- Obtener la población de camiones de chasis rígido y articulado registrados por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) matriculados en la ciudad de Riobamba.
- Determinar una muestra estadística en base a la población existente.
- Medir las cargas por eje en camiones de chasis rígido y articulado mediante las básculas disponibles en las empresas Ecuacerámica, Tubasec y Cemento Chimborazo.
- Medir el tráfico promedio diario anual (TPDA) y su composición en la circunvalación de la ciudad de Riobamba.
- Establecer la diferencia en el número de repeticiones del eje equivalente de carga ESAL para el pavimento existente.
- Comparar el espesor del pavimento calculado con el modelo de cargas MTOP versus el espesor de pavimento requerido para las cargas medidas.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 TRÁNSITO

Para el diseño de una vía o una parte de ella se debe considerar los datos reales existentes en el tránsito, con estos datos se establece cargas con las que se realiza tanto el diseño geométrico como el diseño de su estructura.

Los datos del tránsito deben incluir las cantidades de vehículo o volúmenes, así como también la distribución de los vehículos por tipos y por pesos, es decir, su composición. (NEVI-12 - MTOP, 2013)

2.1.1 Composición del tránsito

Se le llama composición de tránsito a la cantidad relativa de la clasificación de vehículos en el tránsito total. La clasificación que maneja el ministerio de transporte y obras públicas del Ecuador para estudios y diseños viales, la involucra la función del vehículo, su tamaño y peso.

La clasificación general de los vehículos es:

Vehículos livianos: motocicletas, automóviles, vehículos ligeros como camionetas y pickups, con capacidad hasta de ocho pasajeros y ruedas sencillas en el eje trasero.

Vehículos pesados: camiones, buses y combinaciones de camiones, de más de cuatro toneladas de peso y doble llanta en las ruedas traseras. (NEVI-12 - MTOP, 2013)

2.1.2 Tipos de ejes

Eje simple o eje simple sencillo, consta en sus extremos de una sola rueda.

Eje dual o eje simple dual, es un eje simple que consta en sus extremos de dos ruedas.

Eje tándem: conformado por dos ejes simples cuyos extremos constan de doble rueda.

Eje trídem: conformado por tres ejes simples con doble rueda en sus extremos. (Mendoza & Solórzano, 2018)

2.1.3 Pesos en ejes

Los pesos o cargas de los ejes son determinados por normativas recomendadas que escogemos u obtenidos mediante sistemas de pesajes estáticos o dinámicos. (Mendoza & Solórzano, 2018)

2.1.4 Tráfico Promedio Diario Anual

Se abrevia con las letras TPDA y representa el tránsito total que circula por la carretera durante un año dividido por 365, o sea que es el volumen de tránsito promedio por día. (NEVI-12 - MTOP, 2013)

2.1.5 Tráfico Generado

Generalmente se produce dentro de dos años posteriores de la construcción o reconstrucción de una carretera, su volumen de tráfico está comprendido entre el 20% y 25% del tráfico promedio diario anual. (Mendoza & Solórzano, 2018)

2.1.6 Tráfico Desarrollado

Es el incremento del volumen del tránsito por la incorporación de nuevas áreas de explotación o por el aumento de la productividad de la tierra en la carretera adyacente, por lo general representa un 5% del tráfico promedio diario anual. (Mendoza & Solórzano, 2018)

2.1.7 Tráfico Diario Asignado

Es el volumen total que se genera en un tiempo determinado, que es de un año dividido para el número de días de ese año. (Mendoza & Solórzano, 2018)

2.1.8 Tráfico Proyectado o Futuro

El diseño del tráfico futuro se conforma por el tránsito actual, para un periodo de 15 o 20 años que es la vida útil del pavimento y el crecimiento normal del tráfico, el tráfico generado y el crecimiento del tráfico por desarrollo. (Mendoza & Solórzano, 2018)

2.1.9 Tasa de Crecimiento de Tráfico.

Para el obtener el valor del Trafico Promedio Diario Anual (TPDA), es necesario contar con una base de datos que permitan conocer las variaciones tanto diarias, semanales y estacionales de la vía en estudio; para disponer de esta información se requiere el porcentaje de crecimiento vehicular para el estudio de tráfico.

La tasa de crecimiento de tráfico es aquella información histórica y estadística para determinar valores de crecimiento vehicular proyectado para cada tipo de vehículo, en periodos de varios años para que logre proporcionar base de datos confiable para el cálculo de la tasa de crecimiento vehicular que se espera en el futuro. (Pacheco & Pacheco, 2015)

Tabla 1 Tasa de crecimiento vehicular

TASAS DE CRECIMIENTO DEL TRAFICO (%)			
PERIODO	VEHICULO		
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN
2005-2010	4.49	2.12	3.41
2010-2015	3.99	1.89	3.03
2015-2020	3.60	1.70	2.72
2020-2030	3.27	1.54	2.48

Fuente: (Pacheco & Pacheco, 2015)

2.2 PAVIMENTO

Son capas que son apoyadas en la subrasante de una vía con materiales adecuados y debidamente compactados. Estas capas conforman la estructura la misma que debe resistir los esfuerzos que se generan a través de las cargas repetidas del tránsito durante la vida útil para la cual fue diseñada. (INVIAS, 2013)

Los pavimentos se clasifican en:

- Pavimentos flexibles
- Pavimentos rígidos
- Pavimentos semirígidos

2.2.1 Pavimentos Rígidos

Son aquellos donde la capa de rodadura está formada por una losa de concreto hidráulico (agua, cemento, arena y grava), con o sin refuerzo estructural, apoyada sobre la subrasante de material granular. (NEVI-12 - MTOP, 2013)

2.2.2 Diseño de Pavimento Rígido

Las capas que conforman el pavimento rígido son las siguientes como se muestra en la figura 1:

- Subrasante
- Subbase
- Losa o Superficie de Rodadura. (Arroyo, 2010)

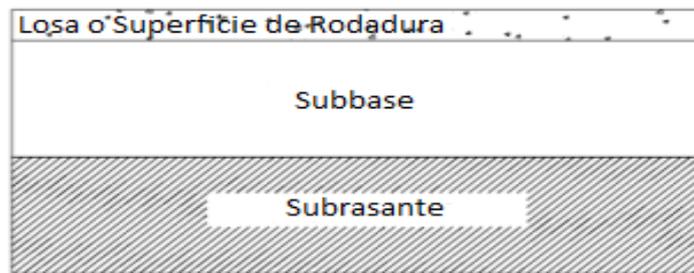


Figura 1 Capas del pavimento rígido

Fuente: (Arroyo, 2010)

Subrasante: Es aquella capa del terreno que soporta la estructura del pavimento extendida hasta una profundidad donde no logre afectar las cargas de diseño que corresponde al tráfico previsto, darle sustentación; también es conocida como cimentación del pavimento; la cual puede estar conformada por corte y relleno compactadas; debe contar con las secciones transversales y pendientes especificadas en el diseño.

Subbase: Esta capa es constituida por materiales granulares y está diseñada exclusivamente para soportar, distribuir y transmitir con uniformidad las cargas ejercidas en la superficie de rodadura del pavimento y para que la subrasante pueda asimilar las cargas sin variaciones inherentes que puedan llegar a afectar a la subbase; también se la utiliza como capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, protegiendo a la estructura de pavimento.

Losa o Superficie de Rodadura: Es la capa superior de la estructura del pavimento constituida por concreto hidráulico que, al poseer alto módulo de elasticidad y rigidez, basa su capacidad portante en la losa más que en la subrasante, por lo que no se utiliza capa de base. (Arroyo, 2010)

2.2.3 Espesor de Losa Para Pavimento Rígido

El espesor de la losa, corresponde a las condiciones de diseño para la que se utilizara la fórmula propuesta por la AASHTO como indica la ecuación, o mediante el uso de programas de computación. (Universidad Mayor de San Simón, 2015)

Este procedimiento inicia en suponer un espesor de pavimentos mediante tanteos hasta calcular los ejes equivalentes ESAL's, para que posteriormente se evalúe en conjunto con todos los factores adicionales de diseño; logrando así el equilibrio de la ecuación 1. (Arroyo, 2010)

Ecuación 1 Fórmula para el cálculo de espesor de la losa

$$\begin{aligned} \log \log W_{18} &= ESAL's \\ &= Z_R * S_O + 7.35 \lg \lg (D + 1) - 0.06 + \frac{\lg \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}}{1 + \frac{1.625 * 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \\ &\quad * \lg \frac{S'_O * C_d(D^{0.75} - 1.132)}{215.63J * \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{K} \right)^{0.25}} \right)} \end{aligned}$$

Donde:

- $W_{18} = ESAL's$ = Transito estimado para el periodo de vida útil en ejes equivalentes de 18 kips (80kN) “ESALs”
- Z_R = Factor de desviación normal para el nivel de confiabilidad R
- S_O = Desvío estándar de todas las variables
- D = Espesor de la losa en pulgadas
- ΔPSI = Perdida de serviciabilidad prevista en el diseño
- P_t = Serviciabilidad final
- S'_O = Módulo de rotura del hormigón en psi
- J = Coeficiente de transferencia de cargas
- C_d = Coeficiente de drenaje
- E_c = Modulo de elasticidad del hormigón en psi
- K = Modulo efectivo de reacción de la subrasante (psi/pulg)

Para el diseño de pavimentos de concreto el método más utilizado son propuestos por AASHTO en 1993 y PCA en 1984. Estos métodos de estudio, proponen características distintas y los espesores calculados en ellos, pese a condiciones similares; en resumen, se considerarán las recomendaciones establecidas por ambos métodos para elaboración de cartas de diseño como propuesta de catálogos de estructuras.

Los espesores de las tablas 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 son el resultado de análisis de varios diseños los cuales se obtuvieron mediante metodologías propuestas por la PCA'84 y AASHTO'93.

Todos los resultados están representados y tabulados en función de variables que sirven para el cálculo del espesor; estos están definidos por los siguientes términos:

- Tránsito (T#)
- Tipo de suelo (S#)
- Capacidad de soporte de la subrasante; si el pavimento tendrá dovelas (D) o no (ND)
- Bermas laterales (B) o no (NB)
- Soporte que desea el pavimento suelo natural o subrasante, base granular o base estabilizada con cemento (SN, BG, BEC)
- Calidad del concreto (MR#)

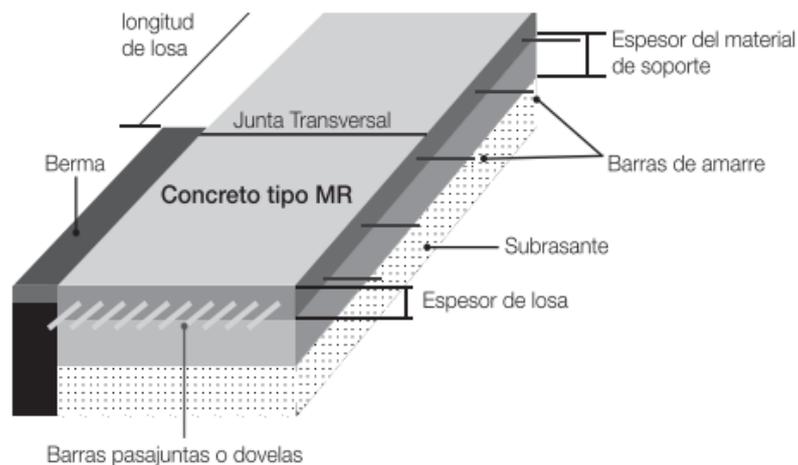


Figura 2 Esquema representativo del pavimento de concreto

Fuente:(Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 2 Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia

Clase o Tipo	CBR%	Módulo resiliente (MR) en kg/cm ²
S1	<2	<200
S2	2 - 5	200 - 500
S3	5 - 10	500 - 1000
S4	10 - 20	1.000 - 2.000
S5	>20	>2.000

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 3 Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto

Denominación	Descripción
SN	Subrasante Natural
BG	Base Granular
BEC	Base Estabilizada con Cemento

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 4 Denominación del sistema de transferencia de cargas y confinamiento lateral

Denominación	Descripción
D	Dovelas
B	Bermas
No D	No Dovelas
No B	No Bermas

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 5 Valores de resistencias a la flexotracción del concreto (Módulo de Rotura)

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 6 Categorías de tránsito para la selección de espesores

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2t
T0	(Vt) - (E)	0 a 200	<1'000.000
T1	(Vs) - (M o A) - (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T2	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1'500.000 a 5'000.000
T3	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T4	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9'000.000 a 17'000.000
T5	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T6	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25'000.000 a 100'000.000

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 7 Siglas - Significado

Siglas	Significado
Vt	Vía terciaria
Vs	Vía Secundaria
Vp	Vía Principal
E	Estrechas
M	Medias
A	Anchas
CC	Carreteras de 2 direcciones
MC	Carreteras multicarriles
AP	Autopistas
Si	Clase de suelo con i variando desde 1 hasta 5
Ti	Clase de tránsito con i variando desde 0 hasta 6
D	Dovelas
B	Bermas

SN	Suelo natural o subrasante
BG	Base granular
BEC	Base estabilizada con cemento
CBR	Relación de soporte de California
ESALs	Ejes equivalentes definidos con el procedimiento "Equivalent Axels Load System"

Fuente:(Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 8 Variables consideradas en los análisis de diseño del pavimento

Suelos	Tránsito	Transferencia y Confinamiento	Soporte	Concreto
S1 (CBR<2)	T0 (ESALs < 1x10 ⁶)	D y B (Dovelas y Bermas)	SN (Subrasante)	MR1 = 38MPa
S2 (2<CBR<5)	T1 (1x10 ⁶ ESALs < 1.5x10 ⁶)	D y No B (Dovelas y No Bermas)	BG (15 cm BG)	MR2 = 40MPa
S3 (5<CBR<10)	T2 (1.5x10 ⁶ ESALs < 5x10 ⁶)	No D y B (No Dovelas y Bermas)	BEC (15cm BEC)	MR3 = 42MPa
S4 (10<CBR<20)	T3 (5x10 ⁶ ESALs < 9x10 ⁶)	No D y No B (No Dovelas y No Bermas)		MR4 = 45MPa
S5 (CBR>20)	T4 (9x10 ⁶ ESALs < 17x10 ⁶)			
	T5 (17x10 ⁶ ESALs < 25x10 ⁶)			
	T6 (25x10 ⁶ ESALs < 100x10 ⁶)			

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 9 Espesor de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables T0

ESPESOR DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																					
Tránsito T0																					
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B
SN	MR1			24	28	23	27	23	27	21	24	21	24	20	24	20	24	20	23	20	23
	MR2			23	27	22	26	22	26	20	24	20	24	20	23	20	23	19	22	19	22
	MR3			23	26	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR4			21	24	20	24	20	24	19	22	19	22	18	21	18	21	18	21	18	21
BG	MR1			23	26	22	26	22	26	21	24	21	24	20	23	20	23	20	23	20	23
	MR2			22	25	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR3			21	24	20	24	20	24	29	22	19	22	19	22	19	22	18	21	18	21
	MR4			20	23	19	23	19	23	28	21	18	21	18	21	18	21	17	20	18	20
BEC	MR1			20	23	19	22	19	22	18	21	18	21	18	20	18	20	17	20	17	20
	MR2			19	22	19	21	19	21	17	20	17	20	17	20	17	20	17	19	17	19

MR3	18	21	18	21	18	21	17	19	17	19	16	19	17	19	16	19	17	19
MR4	18	20	17	20	18	20	16	19	17	19	16	18	17	18	15	18	17	18

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 10 Espesor de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables T1

ESPESOR DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																				
Tránsito T1																				
		S1				S2				S3				S4				S5		
		D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y No B
SN	MR1		24	28	23	27	23	27	21	25	21	25	21	24	21	24	20	23	20	23
	MR2		23	27	22	26	22	26	21	24	21	24	20	23	20	23	20	23	20	23
	MR3		22	26	22	25	22	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR4		20	25	21	24	21	24	19	22	19	22	18	21	19	21	18	21	19	21
BG	MR1		23	26	22	26	22	26	21	24	21	24	20	24	20	24	20	23	20	23
	MR2		22	26	22	25	22	25	20	23	20	23	20	23	20	23	19	22	19	22
	MR3		21	25	21	24	21	24	19	23	19	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR4		20	24	20	23	20	23	18	22	19	22	18	21	19	21	18	21	19	21
BEC	MR1		20	23	20	23	20	23	18	21	18	21	18	21	18	21	18	20	18	20
	MR2		19	22	19	22	19	22	18	20	18	20	17	20	18	20	17	20	18	19
	MR3		19	22	18	21	19	21	17	20	18	20	17	19	18	19	16	19	18	19
	MR4		19	21	17	20	19	20	16	19	18	19	16	18	18	19	15	18	18	18

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 11 Espesor de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables T2

ESPESOR DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																					
Tránsito T2																					
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B
SN	MR1	25	29	25	29	24	28	24	28	22	26	22	26	22	25	22	25	21	25	22	25
	MR2	24	28	25	28	24	27	24	27	22	25	22	25	21	24	22	24	21	24	22	24
	MR3	24	27	25	27	24	28	26	28	21	24	22	24	20	23	22	23	20	23	22	23
	MR4	22	26	25	26	23	27	26	27	20	23	22	24	19	22	22	23	19	22	22	23
BG	MR1	24	28	24	28	23	27	23	27	22	25	22	25	21	25	22	25	21	24	21	24
	MR2	23	27	23	27	23	26	23	26	21	24	22	24	21	24	22	24	20	23	21	23
	MR3	22	26	23	26	23	27	25	27	20	24	22	24	20	23	22	23	20	23	21	23
	MR4	21	25	23	25	22	26	25	26	19	23	22	23	19	22	22	23	19	22	21	23
BEC	MR1	21	24	21	24	21	24	21	24	19	22	21	22	19	22	20	22	19	21	20	22
	MR2	20	23	21	23	20	23	21	23	19	21	21	22	18	21	20	22	18	20	20	22
	MR3	19	23	21	23	20	23	23	24	18	21	21	22	18	20	20	22	17	20	20	22
	MR4	18	22	21	23	19	22	23	24	17	20	21	22	17	19	20	22	17	19	20	22

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 12 Espesor de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables T3

ESPESOR DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																					
Tránsito T3																					
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B
SN	MR1	29	34	31		28	32	30		26	30	27	30	25	29	26	29	24	28	26	28
	MR2	28	32	31		27	31	30		25	29	27	29	24	28	26	28	24	27	26	27
	MR3	27	31	31		26	30	30		24	28	27	28	23	27	26	28	23	26	26	27
	MR4	26	30	31		25	29	30		23	26	27	28	22	25	26	28	22	25	26	27
BG	MR1	27	32	29		27	31	28		25	29	26	29	24	28	26	27	24	28	25	28
	MR2	26	31	29		26	30	28		24	28	26	28	24	27	26	27	23	27	25	27
	MR3	26	30	29		25	29	28		23	27	26	28	23	26	26	27	22	26	25	27
	MR4	24	28	29		24	27	28		22	26	26	28	22	25	26	27	21	25	25	27
BEC	MR1	24	28	25	28	24	27	25	27	22	25	24	26	22	25	24	25	21	24	23	25
	MR2	23	27	25	27	23	26	25	26	21	24	24	26	21	24	24	25	21	23	23	25
	MR3	22	26	25	27	22	25	25	26	21	24	24	26	20	23	24	25	20	23	23	25
	MR4	21	24	25	27	21	24	25	26	20	22	24	26	20	22	24	25	19	22	23	25

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 13 Espesor de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables T4

ESPESOR DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																					
Tránsito T4																					
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B
SN	MR1	30				29				26	30	29		26	29	28	30	25	29	27	30
	MR2	29				28				25	29	29		25	28	28	30	24	28	27	30
	MR3	28				27				25	28	29		24	27	28	30	23	27	27	30
	MR4	26	30			25	29			23	27	29		23	26	28	30	22	26	27	30
BG	MR1	28				28				26	30	28	30	25	29	28	30	25	28	27	29
	MR2	27				27				25	29	28	30	24	28	28	30	24	27	27	29
	MR3	26				26	30			24	28	28	30	23	27	28	30	23	26	27	29
	MR4	25	29			24	28			23	26	28	30	22	26	28	30	22	25	27	29
BEC	MR1	25	28			24	28	27	29	23	26	26	28	22	25	25	27	22	25	25	27
	MR2	24	27			23	27	27	29	22	25	26	28	21	24	25	27	21	24	25	27
	MR3	23	26			22	26	27	29	21	24	26	28	21	24	25	27	21	23	25	27
	MR4	22	25			22	25	27	29	21	24	26	28	21	24	25	27	21	23	25	27

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 14 Espesor de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables T5

ESPESOR DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																							
Tránsito T5																							
		S1				S2				S3				S4				S5					
		D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B		
SN	MR1	30				29				27				30				26	30	29	25	29	29
	MR2	29				28				26	30	30		25	29	29		24	29	29	24	28	29
	MR3	28				27				25	29	30		24	28	29		24	28	29	24	27	29
	MR4	27				26	30			24	27	30		23	26	29		23	26	29	23	26	29
BG	MR1	29				28				26	30	29		25	29	29		25	29	29	25	29	28
	MR2	28				27				25	29	29		25	28	29		24	28	29	24	28	28
	MR3	27				26				24	28	29		24	27	29		23	27	29	23	27	28
	MR4	25	29			25	29			24	27	29		23	26	29		23	26	29	23	26	28
BEC	MR1	25	29	28		25	28	28	30	23	26	27	29	23	26	26	29	22	25	26	26	28	28
	MR2	24	28	28		24	27	28	30	22	25	27	29	22	25	26	29	21	24	26	26	28	28
	MR3	23	27	28		23	26	28	30	22	25	27	29	21	25	26	29	21	24	26	26	28	28
	MR4	23	25	28		23	25	28	30	22	25	27	29	21	25	26	29	21	24	26	26	28	28

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 15 Espesor de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables T6

ESPESOR DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																					
Tránsito T6																					
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B
SN	MR1	32								27				27				27	30		
	MR2	30				29				26	30			26	30			26	30		
	MR3	30				29				26	30			26	30			26	30		
	MR4	30				29				26	30			26	30			26	30		
BG	MR1	30				29				27				27				26	30		
	MR2	29				28				26	30			26	30			25	29		
	MR3	29				28				26	30			26	30			25	29		
	MR4	29				28				26	30			26	30			25	29		
BEC	MR1	26	30			26	29			24		29		24		29		24	28	29	
	MR2	25	29			25	29			24	28	29		24	28	29		24	28	29	
	MR3	25	29			25	29			24	28	29		24	28	29		24	28	29	
	MR4	25	29			25	29			24	28	29		24	28	29		24	28	29	

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

2.2.4 Período De Diseño

“Es el lapso transcurrido desde que se inaugura la estructura al servicio, hasta que los deterioros producidos por el tránsito y los agentes ambientales hacen que la vía pierda su funcionalidad” (Montejo, 2002)

Por lo general el periodo de diseño es de 20 años en procedimientos de diseño de vías, debido a que el tráfico no puede ser predicho de manera exacta para un periodo de estudio largo. (Packard, 2019).

Los periodos de diseño recomendados por la AASHTO se muestran en la siguiente tabla 16.

Tabla 16 Periodo de diseño

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño (Años)
Urbana de tránsito elevado	30-50
Interurbana de tránsito elevado	20-50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15-25
De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava	10-20

Fuente: (IBCH, 2006)

2.3 EJES ESTÁNDAR EQUIVALENTES DE CARGA (ESAL`S)

El pavimento se comporta de forma diferente ya que las cargas que son transmitidas van a depender del número de ejes y su peso, para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de una determinada carga, la misma que producirá el mismo daño que toda la composición del tránsito.

Esta carga tipo es de 8.2Tn según en S.I; 80 KN o 18 kips según AASHTO. La conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga, denominados LEF por sus siglas en inglés ("Load Equivalent Factor") o Factor Equivalente de Carga. (IBCH, 2006)

2.3.1 Factores equivalentes de carga (LEF)

El concepto de convertir a un número de repeticiones durante el período de diseño (ESAL´s de 80 KN) de un tránsito fue desarrollado en el Road Test de la AASHTO, para obtener el

daño producido realizaron pruebas con diferentes configuraciones de ejes y cargas en un pavimento similar.

El factor equivalente de carga representa un valor numérico que expresa la pérdida de serviciabilidad causado por un tipo de eje versus la producida por el eje estándar 80 KN. (IBCH, 2006)

$$LEF = \frac{\text{No. de ESALs de 80 KN que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{No. de ejes de } x \text{ KN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

2.3.2 Factor camión

El factor camión es proporcionado mediante el daño expresado en término de deterioro producido por un vehículo, para determinar el daño total producido se suman todos los producidos por cada eje, se obtiene el daño producido por una pasada de un vehículo. (IBCH, 2006)

$$\text{Factor de Camión (FC)} = \frac{N^{\circ} \text{ ESALs}}{N^{\circ} \text{ de camiones}}$$

2.3.3 Espectros de Carga

Para el análisis estructural y diseño de pavimentos, el más importante es el tránsito vehicular; la caracterización adecuada es fundamental en su diseño de estructuras de pavimentos los cuales están capaces para resistir altos desempeños en términos de durabilidad.

Tienen como finalidad el diseño, rehabilitación, modernización, reconstrucción, prevención y operación de carreteras; para esto se caracteriza el mejor tránsito vehicular sobre la vía. (Garnica, 2009)

Los espectros de carga se calculan para cada tipo de eje (sencillo, dual, tándem, trídem), y se define como la relación entre el número de ejes con valor de carga y el número total del tipo de eje, expresado en porcentaje.

El uso de los espectros permite estimar los efectos del tránsito actual sobre el pavimento; estos son utilizados directamente para el análisis de esfuerzos y deformaciones unitarias.

III. METODOLOGÍA

En el presente proyecto investigativo tiene como objetivo realizar una comparación de los espesores mediante el análisis del número de repeticiones de eje estándar equivalente para alcanzar valores proyectados para el horizonte de diseño de la vía en estudio con alto flujo vehicular en la circunvalación de la ciudad de Riobamba.

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, se realizó una serie de procedimientos que parten de la búsqueda bibliográfica relacionado con el tema investigativo; posteriormente se realizó la parte experimental con la ayuda de empresas privadas que faciliten el acceso de básculas para vehículos pesados.

3.1 DIAGRAMA METODOLÓGICO

En la siguiente figura se muestran las actividades para el desarrollo del tema investigativo.

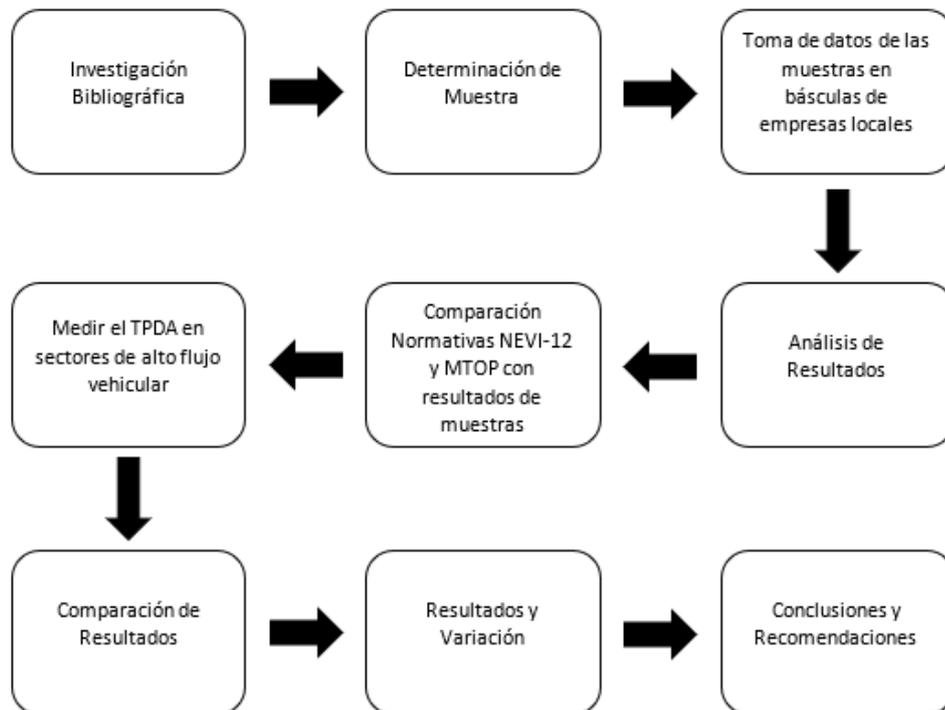


Figura 3 Esquema del procedimiento metodológico

Fuente: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

En el presente tema de investigación se empleará una metodología Experimental – Cuantitativa de acuerdo con el enfoque Teórico – Práctico; por el que se analizará resultados numéricos de los datos comparativos reales versus los resultados dictaminados por la normativa vigente utilizada en el país.

3.3 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

En un principio, se contempla la revisión bibliográfica relacionado al tema investigativo para poder desarrollar el estado de arte, procedimientos de desarrollo experimental y el alcance que llegara a tener de acuerdo con los objetivos planteados en la temática para obtener la población de vehículos pesados, basado en el documento que fue emitido por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), con la que se podrá determinar el valor de la población para después determinar la muestra de vehículos pesados que se encuentran matriculados en la ciudad de Riobamba.

La obtención de datos se hace a partir de los pesos registrados en las básculas de las industrias del sector, a partir de los valores aforados (Anexo 4) se compara con lo dispuesto en el documento de pesos y medidas; los cuales establecen los límites permitidos para cada tipo de vehículo por eje de carga normalizado. Una vez recolectado los datos del pesaje, se procederá a determinar el Tránsito Promedio Anual (TPDA) mediante una técnica de video registro, en los sectores con mayor flujo vehicular de la circunvalación de Riobamba, específicamente se analizará en la Av. Pedro Vicente y Av. Monseñor Leónidas Proaño, sector de la “Media Luna”; así obteniendo la composición del tránsito para desglosar la aplicación de ejes al pavimento, analizando ESAL’s y determinando si existe variación con lo establecido en la normativa ecuatoriana vigente. Finalmente se realizará una comparación de espesores de pavimentos calculando los modelos de cargas establecidos por el MTOP versus el espesor de los pavimentos requeridos para las cargas recolectadas en los sectores mencionados de la ciudad de Riobamba.

IV. RESULTADOS

Para obtener los resultados, se inició con la determinación de la población de vehículos matriculados en la ciudad de Riobamba específicamente con los vehículos pesados de los cuales se va a tratar en el trabajo investigativo; para lo cual, la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) nos proporcionó la información mediante un oficio donde nos indica que en la ciudad de Riobamba existen 1514 vehículos pesados matriculados hasta la fecha emitida en el 23 de Marzo del 2021 ver anexo 1

4.1 CÁLCULO DE LA MUESTRA

Para realizar el pesaje vehicular tanto de vehículos pesados de chasis articulado como rígido, se calculó una muestra basándonos en la fórmula para una población finita de vehículos pesados matriculados en la ciudad de Riobamba mencionado anteriormente. (Meneses et al., 2021)

$$n = \frac{N * Za^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Za^2 * p * q}$$

Donde:

- n= Tamaño de la muestra buscada
- N= Tamaño de la Población o Universo; 1514 vehículos pesados matriculados en la ciudad de Riobamba
- Za= Parámetro Estadístico que depende del Nivel de confianza (NC); se tiene un grado de confianza del 95% para lo que es un valor equivalente Za de 1.96

Tabla 17 Nivel de Confianza

Nivel de Confianza (NC)	Za
99.7%	3
99%	2.58
98%	2.33
96%	2.05
95%	1.96
90%	1.645
80%	1.28
50%	0.674

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

- e = Error de estimación máximo aceptado; valor permitido en el estudio del 3%
- p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (Éxito); valor estimado del 5% para lo que maximiza el tamaño de la muestra
- $q = (1-p)$ = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Una vez reemplazado todas las variables de la fórmula, se determina una muestra de 179 vehículos pesados a realizar el pesaje en básculas de las empresas privadas 1 y 2.

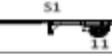
4.2 PESAJE VEHICULAR

El pesaje vehicular se realizó en las básculas de las empresas privadas mencionadas, para lo que se estableció un procedimiento, el cual consta del pesaje de cada eje del vehículo, incluyendo su peso total.

El objetivo del pesaje vehicular está basado en obtener los valores como se muestra en la tabla nacional de pesos y dimensiones con la que se maneja en la normativa MTOP (Vol. 2 – Libro A) y verificar si estos cumplen con los pesos máximos permitidos.

Dentro de las empresas donde se realizó el aforo de pesos, se encontraron 4 tipos de vehículos pesados de los cuales se obtuvo los datos del pesaje en toneladas (Anexo4), estos tipos fueron los vehículos de chasis rígido conocidos como sencillo o tándem que la NEVI-12 los representa con V2DB, V3A, VZS y T3-S3, en la empresa 1; en cuanto a los vehículos de chasis articulado se obtuvo solo de la clase T3-S3 en la empresa 2.

Tabla 18 Tabla Nacional de Pesos Y Dimensiones

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN		PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	
2 D				CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO	7
2DA				CAMIÓN DE 2 EJES MEDIANOS	10
2DB				CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES	18
3-A				CAMIÓN DE 3 EJES	27
4-C				CAMIÓN DE 4 EJES	31
4-0 octopus				CAMIÓN CON TÁNDEM DIRECCIONAL Y TÁNDEM POSTERIOR	32
V2DB				VOLQUETA DE DOS EJES 8 m ³	18
V3A				VOLQUETA DE TRES EJES 10-14 m ³	27
VZS				VOLQUETA ZS DE 3 EJES 16 m ³	27
T2				TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES	18
T3				TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES	27
S3				SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	24
S2				SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	20
S1				SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	11

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013

El pesaje consistía en realizar 3 tipos de pesaje por vehículo, en el caso del tipo volqueta se realiza el pesaje del eje delantero, el peso total y finalmente el peso del eje dual o tándem dependiendo del tipo de vehículo; de igual manera se lo realizó en el caso del articulado donde se pesó el cabezal, el peso total y remolque.



Figura 4 Pesaje Eje Delantero de un Vehículo de Chasis Rígido
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 5 Pesaje Total de un Vehículo de Chasis Rígido
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 6 Pesaje Eje Dual o Tándem de un Vehículo de Chasis Rígido
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 7 Pesaje de un Vehículo de Chasis Articulado
 Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Las muestras obtenidas están representadas en la Tabla 54 de resultados que se encuentra en el Anexo 4, en los cuales se muestra el peso en toneladas para comparar si estos valores se encuentran dentro de lo permitido por la normativa NEVI-12.

En la tabla 19 se muestra la agrupación, nomenclatura para el tipo de eje y los valores de carga promedio total de los datos obtenidos.

Tabla 19 Cargas por eje promedio aforado mediante pesaje vehicular

Tipo	Carga Eje (Tn)			Carga Promedio Total (Tn)
Articulado	Simple	Lss	6.14	55.67
	Tándem	Lt	17.54	
	Trídem	Ltr	31.99	
Rígido Tándem	Simple	Lss	5.95	38.30
	Tándem	Lt	32.36	
Rígido Sencillo	Simple	Lss	5.10	21.37
	Dual	Lsd	16.27	

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 8 Pantalla de Báscula con el Pesaje de Vehículo de Chasis Rígido
 Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 9 Pantalla de Báscula con el Pesaje de Vehículo de Chasis Articulado
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

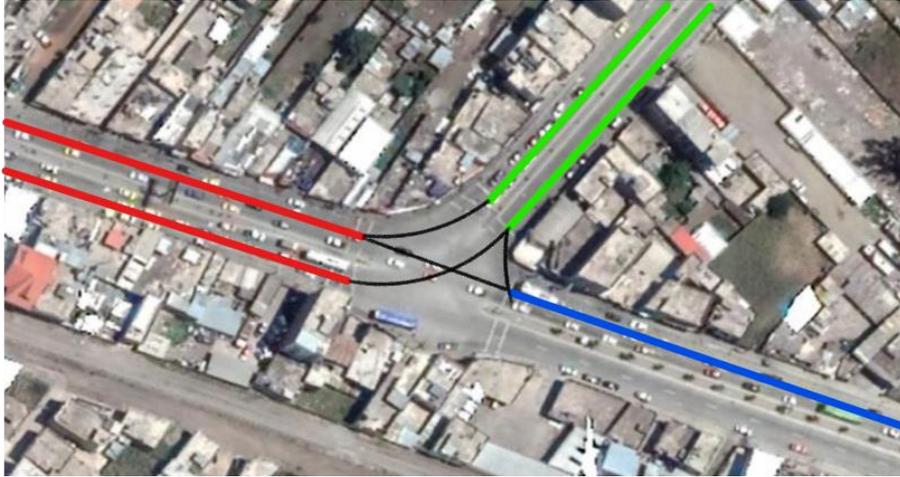
4.3 CONTEO VEHICULAR Y CÁLCULO DE TPDA

4.3.1 Ubicación De Estudio

Para realiza el conteo vehicular, primero se ubicó el sector de mayor aforo de tráfico en la circunvalación de la ciudad de Riobamba; en la Av. Pedro Vicente y Av. Monseñor Leónidas Proaño, sector de la “Media Luna” es el lugar donde se realizó el conteo vehicular, para lo cual se utilizó equipos de grabación para guardar videos de los 7 días de conteo vehicular durante 24 horas.

Se realizó 4 sentidos de estudio para el conteo vehicular el cual consiste en los siguientes:

- Sur – Norte (Politécnica – Lican)
- Sur – Este (Politécnica – Campana)
- Este – Norte (Campana - Lican)
- Norte – Este (Lican - Campana)



*Figura 10 Av. Pedro Vicente y av. Monseñor Leónidas Proaño, Sector Media Luna,
Vías y Sentidos de estudio*
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 11 Av. Pedro Vicente y av. Monseñor Leónidas Proaño, Sector Media Luna
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

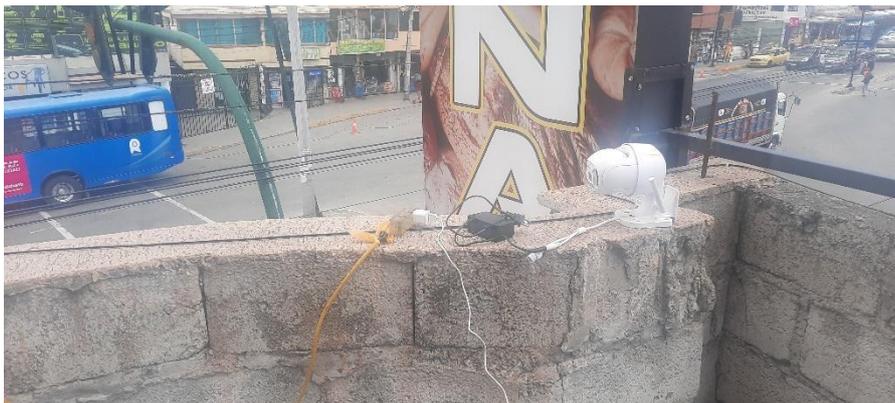


Figura 12 Cámaras colocadas en puntos estratégicos con buena visibilidad
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 13 Instalación de equipos de Grabación
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

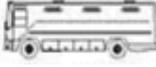
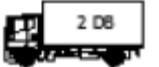
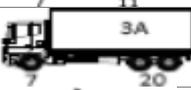


Figura 14 Extracción de videos
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

4.3.2 Conteo Vehicular

El tráfico establecido para el conteo vehicular se clasificó en tres clases: Vehículos Livianos, Vehículos Pesados y Vehículos Especiales los cuales están subdivididos de la siguiente manera:

Tabla 20 Clasificación Vehicular para Conteo y TPDA

	TIPO DE VEHÍCULO	SÍMBOLO	ESQUEMA
VEHICULO LIVIANO	AUTOMÓVIL	P	
	CAMIONETA	C	
VEHICULO PESADO	AUTOBUSES	B	
	CHASIS RÍGIDO	2D	
		2DA	
		2DB	
		3A	
		V3A	
		VZS	
		CHASIS ARTICULADO	T2-S1
	T2-S2		
	T2-S3		
T3-S1			
T3-S2			
T3-S3			
VEHÍCULO ESPECIALES	CAMIONES Y/O REMOLQUES ESPECIALES	-	-
	MAQUINARIA	S/N	-
	BICICLETAS Y MOTOCICLETAS	-	-

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Una vez definido el tráfico en estudio y la ubicación junto a las direcciones donde se realizará el conteo, se prepararon formularios y plantillas para realizar el conteo clasificatorio como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21 Conteo Vehicular Semanal

DÍA	VEHÍCULO	CAMIONETA	BUS	CAMIÓN 2 Ejes	CAMIÓN 3 Ejes	VOLQUETAS 2 Ejes	VOLQUETAS 3 Ejes	TRAILERS	ES
LUNES	16870	6593	1708	3460	963	168	215	712	
MARTES	13696	5472	1611	2720	788	125	170	395	
MIÉRCOLES	15292	6995	1676	4033	1104	177	230	764	
JUEVES	14897	5725	1641	3734	881	172	209	406	
VIERNES	19160	7102	2198	4001	1094	197	221	773	
SABADO	14245	6351	1746	2729	960	152	177	722	
DOMINGO	13831	6000	1264	1979	1053	116	136	702	
Σ TOTAL	107991	44238	11844	22656	6843	1107	1358	4474	

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2021)

En el Anexo 3 en las Tablas 47, 48, 49, 50, 51, 52 y 53 se muestran los resultados del volumen de tráfico diario de acuerdo a las direcciones especificadas anteriormente.

El resultado del conteo vehicular durante 7 días y 24 horas consecutivas dan como resultado un total de 209255 vehículos mixtos / día.

4.3.3 Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS)

Se define como el volumen de tránsito promedio diario semanal al número de vehículos que transcurren durante un periodo de tiempo dado (7 días de la semana durante las 24 horas de manera consecutiva).

$$TPDS = \frac{Ts}{7}$$

$$TPDS = \frac{209255}{7}$$

$$TPDS = 29894 \text{ vehículos mixtos / día}$$

4.3.4 Tráfico Promedio Diaria Anual (TPDA)

$$TPDA = TPDS \pm A$$

Donde:

- A= Máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS

La fórmula expresa el valor de A es una suma o resta que representa el intervalo de confianza del cual se muestre el TPDA. Para determinar su nivel de confiabilidad el valor es representado de la siguiente fórmula.

$$A = K * E$$

Donde:

- K= Número de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confianza deseado
- E= Error estándar de la media

El Error también se lo puede expresar como:

$$E = \sigma$$

Donde:

- σ = Estimador de la desviación estándar poblacional

$$\sigma = \frac{S}{\sqrt{n}} * \left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right)$$

Donde:

- n= Tamaño de la muestra en número de días de aforo.
- N= Tamaño de la población en número de días de aforo.
- S= Desviación estándar de la distribución de los volúmenes de tránsito diario o desviación estándar muestral.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TPDS)^2}{n - 1}}$$

Donde:

- TD_i = Volumen aforado de tránsito por día

Finalmente se puede entender que la fórmula queda expresada de la siguiente manera:

$$TPDA = TPDS \pm A$$

$$TPDA = TPDS \pm K * E$$

$$TPDA = TPDS \pm K * \sigma$$

El nivel de confiabilidad usado es del 95% por lo tanto el valor K es 1.96. Reemplazando todas las variables tenemos:

1. Desviación estándar de la distribución de los volúmenes de tránsito diario o desviación estándar muestral

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TPDS)^2}{n - 1}}$$

- TD (Lunes)= 31936 vehículos mixtos/día
- TD (Martes)= 26056 vehículos mixtos/día
- TD (Miércoles)= 31583 vehículos mixtos/día
- TD (Jueves)= 28833 vehículos mixtos/día
- TD (Viernes)= 36327 vehículos mixtos/día
- TD (Sábado)= 28095 vehículos mixtos/día
- TD (Domingo)= 26425 vehículos mixtos/día
- n= 7 días de aforo vehicular.

$$S = 3640.79$$

2. Estimador de la desviación estándar poblacional.

$$\sigma = E = \frac{S}{\sqrt{n}} * \left(\sqrt{\frac{N - n}{N - 1}} \right)$$

$$\sigma = E = \frac{3641}{\sqrt{7}} * \left(\sqrt{\frac{365 - 7}{365 - 1}} \right)$$

$$\sigma = E = 1364.70$$

3. Nivel de Confiabilidad.

$$K = 95\% = 1.96$$

4. Máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS

$$A = K * E$$

$$A = 1.96 * 1364.70$$

$$A = 2674.82$$

5. Tráfico Promedio Diario Anual

$$TPDA = TPDS + A$$

$$TPDA = 29894 + 2674.82$$

$$TPDA = 32569 \text{ vehículos mixtos / día}$$

4.3.5 Tráfico Futuro

Para el diseño del pavimento de la vía, está basado en el tráfico actual al igual que el incremento de tránsito que espera la vía; para lo cual resulta necesario calcular el tráfico futuro.

Cabe recordar que la circunvalación de la ciudad de Riobamba tiene un proyecto de vida de 20 años como lo indican las normativas INVIAS y MTOP-CAF, para lo que será indispensable calcular hacia el tiempo límite de vida. También se considera muy importante determinar la tasa de crecimiento vehicular en función a tasas de crecimiento demográfica y macroeconómica.

4.3.6 Tasa De Crecimiento

Mediante el uso de la tabla de crecimiento del tráfico establecida por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), se realiza el cálculo de la proyección del tráfico para un periodo de 20 años.

Tabla 22 Tasas de Crecimiento Vehicular (%)

TASAS DE CRECIMIENTO DEL TRÁFICO (%)			
PERIODO	VEHÍCULO		
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN
2005-2010	4.49	2.12	3.41
2010-2015	3.99	1.89	3.03
2015-2020	3.6	1.7	2.72
2020-2030	3.27	1.54	2.48

Fuente: (Pacheco & Pacheco, 2015)

Una vez tomando el índice de crecimiento vehicular para las tres clases de vehículos, se procede a realizar el cálculo de tráfico futuro desglosado en la subdivisión de vehículos pesados por metodología de estudio para el presente proyecto de investigación.

4.3.7 Cálculo Del Tráfico Futuro

$$TF = TPDA * (1 + i)^n$$

Donde:

- TF= Tráfico Futuro
- TPDA= Tráfico Promedio Diario Anual Actual
- i%= Tasa de crecimiento vehicular
- n= Periodo de diseño

Tabla 23 Variables para el cálculo del Tráfico Futuro

	TIPO	ΣTD_i	TPDS	i(%)	S	$\sigma=E$	TPDA
	Liviano	160285	22898	3.27	2592	971.55	24802
	Bus	12473	1782	1.54	300	112.58	2003
	Camión 2 Ejes	22656	3237		777	291.23	3807
	Volqueta 2 Ejes	1107	158		29	10.89	179
Pesados	Camión 3 Ejes	6843	978	2.48	116	43.56	1063
	Volqueta 3 Ejes	1358	194		34	12.73	219
	Tráiler	4474	639		165	61.89	760
	Maquinaria	59	8		3	1.14	11

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Tabla 24 Tráfico Futuro Calculado

TIPO	Tráfico Futuro (TF)					
	2023	2025	2027	2029	2031	
Liviano	26451	28209	30084	32083	34216	
Bus	2065	2129	2195	2263	2333	
Pesados	Camión 2 Ejes	3999	4199	4410	4632	4864
	Volqueta 2 Ejes	189	198	208	218	229
	Camión 3 Ejes	1116	1172	1231	1293	1358
	Volqueta 3 Ejes	230	241	254	266	280
	Tráiler	799	839	881	925	972
	Maquinaria	11	12	12	13	14

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

4.3.8 Distribución Promedio De Vehículos Pesados

Para este método se requiere calcular en porcentaje el aforo vehicular exclusivamente de todos los tipos de vehículos pesados para los que se realizará el estudio; recordando que el factor de carga equivalente sólo utiliza formulación para tipo camión. En las Tablas 25 y 26 se representa el aforo vehicular pesado que se obtuvo del conteo semanal para después agruparlos en vehículos pesados de chasis rígido y chasis articulado, para obtener los valores requeridos en el cálculo del factor de carga equivalente (LEF o EAF).

Tabla 25 Composición de vehículos pesados en el TPDA actual

Distribución Promedio de Vehículos Pesados			
TPDA pesados	Nomenclatura	%	
Bus	-	24.90	
Chasis Rígido 2 Ejes	Camión	2D - 2DA - 2DB	47.34
	Volqueta	V2DB	2.23
Chasis Rígido 3 Ejes	Camión	3A	13.22
	Volqueta	V3A – VZS	2.72
Chasis Articulado	T2S1 – T2S2 – T2S3		9.46
	– T3S1 – T3S2 – T3S3		
Maquinaria	-	0.13	
Σ Total		100	

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Una vez determinado los vehículos pesados en su porcentaje de aforo individual, se ordenará de acuerdo a la clasificación con la que se trabajó en el pesaje vehicular determinado en la Tabla 19.

Tabla 26 Porcentaje de vehículos pesados en el aforo vehicular determinado

Distribución Promedio de Vehículos Pesados		
Tipo	Nomenclatura	%
Bus	-	24.90
Pesado Chasis Rígido 2 Ejes	2D - 2DA - 2DB - V2DB	49.71
Pesado Chasis Rígido 3 Ejes	3A - V3A - VZS	15.94
Pesado Chasis Articulado	T2S1 – T2S2 – T2S3 – T3S1 – T3S2 – T3S3	9.46
Σ Total		100

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

4.3.9 Factor De Carga Equivalente

Los pavimentos están diseñados para que resistan un determinado número de repeticiones de ESAL's durante su periodo de vida útil.

El tránsito está compuesto por diferentes tipos de vehículos de diferente peso y número de ejes tipo de 80kN p 18kips; estos son denominados ESAL's (Carga de Eje Simple Equivalente).

El procedimiento de conversión de tránsito a ESAL's, considera las diferentes cargas actuantes que ejercen sobre el pavimento, los cuales producen tensiones y deformaciones. También el diseño presenta diferentes tipos de espesores de pavimento y materiales los cuales trabajan en conjunto de diferente forma para resistir las cargas que están ejerciendo y estas producen diferentes tipos de fallas.

El tránsito es reducido a un número repeticiones de ejes equivalentes de la misma carga los cuales ejercen el mismo daño que toda la composición del tránsito; esta conversión se la realiza a través de los factores equivalentes de carga LEF (Factor de Carga Equivalente).

El factor de carga equivalente también se lo expresa de acuerdo al tipo de eje que se requiere calcular con la carga de los vehículos pesados, estos son:

- Factor de Carga Equivalente de Eje Simple:

$$F_{ss} = \left(\frac{L_{ss}}{6.6}\right)^4$$

- Factor de Carga Equivalente de Eje Dual:

$$F_{sd} = \left(\frac{L_{sd}}{8.2}\right)^4$$

- Factor de Carga Equivalente de Tándem:

$$F_t = \left(\frac{L_t}{15}\right)^4$$

- Factor de Carga Equivalente de Trídem:

$$F_{tr} = \left(\frac{L_{tr}}{23}\right)^4$$

Las cargas por eje que se reemplazará en las fórmulas, fueron obtenidas de dos diferentes formas para realizar un cuadro comparativo tanto de la investigación realizada, como de la normativa vigente.

En el caso de los valores de la investigación, se obtuvo un resumen de las cargas de acuerdo al pesaje vehicular mencionado anteriormente; por lo tanto, las cargas están expresadas al tipo de vehículos y los tipos de ejes que presenta cada uno de ellos.

Las fórmulas se expresan de la siguiente manera:

- Bus:

Tabla 27 Carga comparativa de ejes para buses en toneladas

Factor Carga Equivalente	Carga (Tn)	
	Investigación	Normativa
F_{ss}	7	7
F_{sd}	11	11



Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

- Camión de 2 Ejes:

Tabla 28 Carga de ejes para camiones de 2 ejes en toneladas

Factor Carga Equivalente	Carga (Tn)	
	Investigación	Normativa
F_{ss}	5.1	7
F_{sd}	16.27	11



Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

- Camión de 3 Ejes:

Tabla 29 Carga de ejes para camiones de 3 ejes en toneladas

Factor Carga Equivalente	Carga (Tn)	
	Investigación	Normativa
Fss	5.95	7
Ft	32.36	20

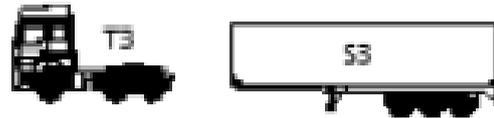


Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

- Camión Articulado:

Tabla 30 Carga de ejes para camiones articulados en toneladas

Factor Carga Equivalente	Carga (Tn)	
	Investigación	Normativa
Fss	6.14	7
Ft	17.54	20
Ftr	31.99	24



Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Con los valores obtenidos se representa la diferencia existente entre los factores de carga equivalentes en base a la normativa versus los factores de carga equivalente determinados por la investigación.

Tabla 31 Factor de Carga Equivalente resultado de la investigación

VEHÍCULO	TPDA (%)	FACTOR DE CARGA EQUIVALENTE				Σ FCE
		CARGA EJE	FCE por eje	FCE en TPDA		
BUS	24.90	Fss 7	1.2654	0.3151	1.1214	
		Fsd 11	3.2382	0.8063		
PESADO CHASIS RÍGIDO 2 EJES	49.71	Fss 5.1	0.3565	0.1772		
		Fsd 16.27	15.4987	7.7038		
PESADO CHASIS RÍGIDO 3 EJES	15.94	Fss 5.95	0.6605	0.1053	12.0402	
		Ft 32.36	21.6605	3.4525		
PESADO CHASIS ARTICULADO	9.46	Fss 6.14	0.7490	0.0708		
		Ft 17.54	1.8696	0.1768		

$\Sigma = 100$	Ftr	31.99	3.7424	0.3539
FACTOR DE CARGA EQUIVALENTE TOTAL (LEF) $\Sigma = 13.1616$				

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Tabla 32 Factor de Carga Equivalente resultado de la normativa

FACTOR DE CARGA EQUIVALENTE					
VEHÍCULO	TPDA (%)	CARGA EJE	FCE por eje	FCE en TPDA	Σ FCE
BUS	24.90	Fss 7	1.2654	0.3151	1.1214
		Fsd 11	3.2383	0.8063	
PESADO CHASIS RÍGIDO 2 EJES	49.71	Fss 7	1.2654	0.6290	
		Fsd 11	3.2383	1.6096	
PESADO CHASIS RÍGIDO 3 EJES	15.94	Fss 7	1.2654	0.2017	3.4746
		Ft 20	3.1605	0.5038	
PESADO CHASIS ARTICULADO	9.46	Fss 7	1.2654	0.1196	
		Ft 20	3.1605	0.2988	
$\Sigma = 100$		Ftr 24	1.1856	0.0.1121	
FACTOR DE CARGA EQUIVALENTE TOTAL (LEF)					$\Sigma = 4.5960$

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Como se puede observar que la diferencia entre los valores de factor de carga equivalente, es muy elevada, se debe tener en cuenta que este valor es usado para realizar el dimensionamiento de los pavimentos rígidos.

La tabla comparativa para el factor de carga equivalente queda de la siguiente manera:

Tabla 33 Diferencia entre valores de investigación vs normativa para el factor de carga equivalente

	Investigación	Normativa	Diferencia
Factor de Carga Equivalente	13.1616	4.5960	8.5656

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

4.3.10 Número De Ejes Equivalentes

Para la determinación del número de repeticiones de ejes equivalentes de carga en el periodo de análisis, es necesario convertir el tráfico en un número de ejes simples equivalentes a 18000 libras (80kN) o 8.2 Tn que el pavimento debe soportar durante su periodo de diseño recomendado (20 años), para lo cual se debe determinar el factor de transformación que a su vez consta de la suma de los factores parciales correspondientes a cada tipo de los vehículos pesados o carga por ejes sean estos simples, dual, tándem, trídem. Este procedimiento solo se realiza con los vehículos tipo pesados, por lo tanto, se excluye a los vehículos tipo liviano.

La formulación para el cálculo de número de repeticiones de ejes equivalentes es:

$$ESAL's = \left(\frac{TPDA_{in} + TPDA_{fin}}{2} \right) * 365 * n * \Sigma FCE * \%TC$$

Donde:

- $TPDA_{in}$ = Tráfico Promedio Diario Anual Inicial
- $TPDA_{fin}$ = Tráfico Promedio Diario Anual Final
- Factor de Carga Equivalente en TPDA (Σ FCE)
- %TCD= Porcentaje de Tráfico para el carril de diseño
- n= Periodo

El valor del porcentaje de tráfico para el carril de diseño, se obtuvo de la AASHTO, la vía de la circunvalación de Riobamba es definida por 4 carriles en 2 direcciones por lo tanto se obtuvo el valor de 45.

Tabla 34 Valores de %TCD

Nº de carriles (2 direcciones)	% de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45 (35-48)
6 o más	40 (25-48)

Fuente: (IBCH, 2006)

Gráficamente se lo puede representar de la siguiente forma;

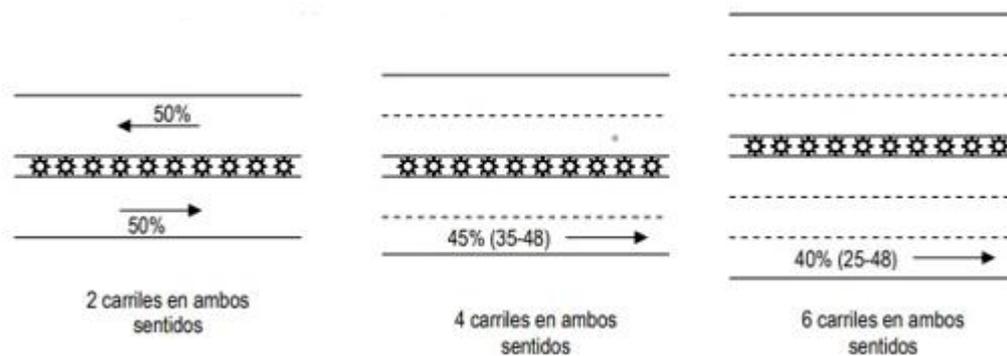


Figura 15 Representación de carriles y valores de porcentajes para carril de diseño (%TCD)

Fuente: AASHTO

Para el periodo de diseño, se debe calcular para el año límite de diseño de la vía, para lo que cabe recalcar que la circunvalación de la ciudad de Riobamba está proyectada para un periodo de vida útil de 20 años; el inicio del proyecto fue en el año 2011 y el horizonte de diseño de su periodo de vida es en el año 2031. Para el cálculo del número de ejes equivalentes se tiene en cuenta que se van a utilizar los 10 años en 5 períodos de 2 años para llegar hasta el límite del período de vida de la circunvalación.

Para el cálculo del número de ejes equivalentes para buses tanto de la investigación como de la normativa se representan en las siguientes tablas.

Tabla 35 Número de ejes equivalentes con valores de la investigación

Tipo	Periodo en Años	Tráfico Inicial	Tráfico Futuro	FCE	%TCD	ESAL's	Año
Bus	2	2003	2065	1.1214	45%	749.121	2023
	2	2065	2129			772.371	2025
	2	2129	2195			796.344	2027
	2	2195	2263			821.060	2029
	2	2263	2333			846.543	2031

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Tabla 36 Número de ejes equivalentes con valores de la normativa

Tipo	Periodo en Años	Tráfico Inicial	Tráfico Futuro	FCE	%TCD	ESAL's	Año
Bus	2	2003	2065	1.1214	45%	749.121	2023
	2	2065	2129			772.371	2025
	2	2129	2195			796.344	2027
	2	2195	2263			821.060	2029
	2	2263	2333			846.543	2031

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Para el cálculo de número de ejes equivalentes (ESAL's) para vehículos pesados tanto de la investigación como de la normativa se representan en las siguientes tablas.

Tabla 37 Número de ejes equivalentes con valores de la investigación

Tipo	Periodo en Años	Tráfico Inicial	Tráfico Futuro	FCE	%TCD	ESAL's	Año
Chasis Rígido y Articulado	2	6040	6343	12.0402	45%	24'488.872	2023
	2	6343	6662			25'718.581	2025
	2	6662	6996			27'010.041	2027
	2	6996	7348			28'366.351	2029
	2	7348	7716			29'790.769	2031

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Tabla 38 Número de ejes equivalentes con valores de la normativa

Tipo	Periodo en Años	Tráfico Inicial	Tráfico Futuro	FCE	%TCD	ESAL's	Año
Chasis Rígido y Articulado	2	6040	6343	3.4746	45%	7'067.099	2023
	2	6343	6662			7'421.973	2025
	2	6662	6996			7'794.668	2027
	2	6996	7348			8'186.077	2029
	2	7348	7716			8'597.142	2031

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

En el tipo Pesado, está conformado por los vehículos de chasis rígido y chasis articulado, de los cuales se pudo obtener los valores de carga de pesaje y el porcentaje de aforo vehicular que se obtuvo en los 7 días de estudio.

El total de número de ejes equivalentes quedaría de la siguiente forma:

Tabla 39 Total de número de ejes equivalentes con valores de la normativa

	Tipo	Número de ejes equivalentes para 10 años	Total de número de ejes equivalentes para 10 años	Diferencia del Esal's
Investigación	Bus	1'299.450	30'637.312	21'193.627
	Pesado	29'790.769		
Normativa	Bus	1'299.450	9'443.685	
	Pesado	8'597.142		

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

El espectro de carga determinado para la circunvalación de Riobamba con los datos de la investigación se muestra en el siguiente gráfico.

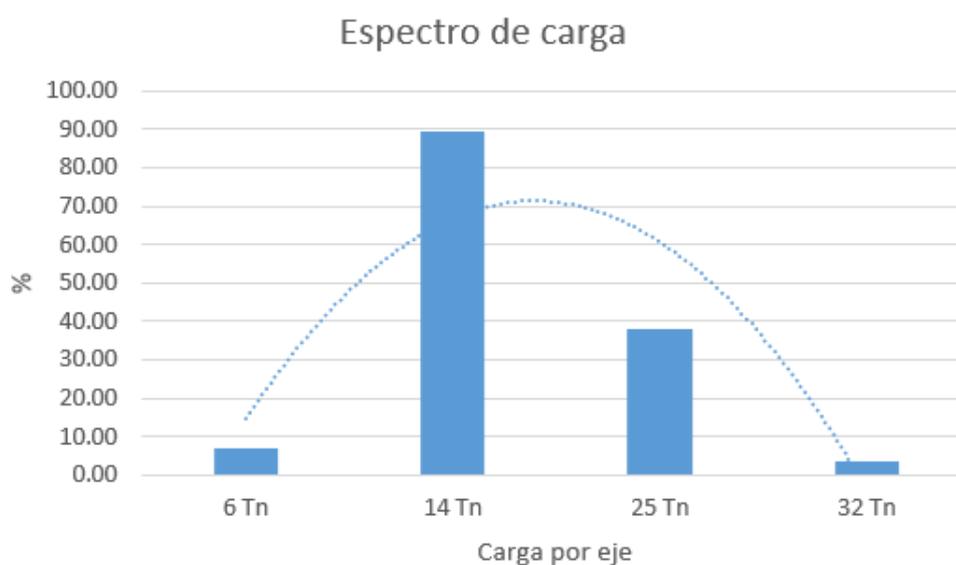


Figura 16 Espectro de carga
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Comparación de Espesor Para Pavimento Rígido

Para obtener el espesor del pavimento rígido, lo obtendremos de la Tabla 40.

Tabla 40 Categorías de tránsito para la selección de espesores

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2t
T0	(Vt) - (E)	0 a 200	<1'000.000
T1	(Vs) - (M o A) - (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T2	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1'500.000 a 5'000.000
T3	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T4	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9'000.000 a 17'000.000
T5	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T6	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25'000.000 a 100'000.000

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Como se puede observar el resultado esperado de los ejes acumulados de la investigación se encuentra en la categoría T6, mientras que los ejes acumulados esperados siguiendo las especificaciones de la normativa se encuentran en la categoría T4.

Riobamba cuenta con un tipo de suelo de arena limosa según la clasificación SUCS, teniendo un CBR de 13.35% promedio; como lo indica el estudio de (Patín, 2018), encontrándonos en la clase S4 de la clasificación de la subrasante de acuerdo con la resistencia (Tabla 1).

De acuerdo con la clasificación de los materiales de soporte para el pavimento el valor de estudio será SN (subrasante natural) para el cálculo del espesor del mismo.

Toda la circunvalación de Riobamba cuenta con dovelas y bermas por lo que esta clasificación se escogerá D y B.

Según la normativa AASHTO-93 los valores del módulo de rotura (MR) varían dependiendo el tipo de pavimento como se indica en el anexo 7, tabla 59. En este caso se clasifica a la circunvalación como una vía urbana principal, la cual requieren un valor recomendado de 45 kg/cm², y a su vez encontrándonos dentro de los valores de resistencia a la flexotracción del concreto, en un MR4 de acuerdo a las tablas de INVIAS.

Para el cálculo del espesor del pavimento rígido según el trabajo de investigación se considera las siguientes características para poder localizar el espesor mínimo según la tabla 41.

Tabla 41 Variables y características para determinar espesor según la investigación

Categoría	Clase o Tipo	Material de soporte	Módulo de Rotura	Sistema de transferencia de cargas y confinamiento lateral
T6	S4	SN	MR4	D y B

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

De igual manera, para el cálculo del espesor del pavimento rígido según el trabajo de normativa se considera las siguientes características para poder localizar el espesor mínimo según la tabla 42.

Tabla 42 Variables y características para determinar espesor según la normativa

Categoría	Clase o Tipo	Material de soporte	Módulo de Rotura	Sistema de transferencia de cargas y confinamiento lateral
T4	S4	SN	MR4	D y B

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Una vez definidas las características los cuales son requisitos para el cálculo del espesor del pavimento rígido, se debe escoger el valor de las siguientes tablas.

Para el espesor del pavimento según la investigación se localiza en la tabla 43 para Tránsito T6.

Tabla 43 Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T6 como factor principal

ESPESOR DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																				
Tránsito T6																				
		S1				S2				S3				S4			S5			
		D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B
SN	MR1	32								27				27			27	30		
	MR2	30				29				26	30			26	30		26	30		
	MR3	30				29				26	30			26	30		26	30		
	MR4	30				29				26	30			26	30		26	30		
BG	MR1	30				29				27				27			26	30		
	MR2	29				28				26	30			26	30		25	29		
	MR3	29				28				26	30			26	30		25	29		
	MR4	29				28				26	30			26	30		25	29		
BEC	MR1	26	30			26	29			24		29		24		29	24	28	29	
	MR2	25	29			25	29			24	28	29		24	28	29	24	28	29	
	MR3	25	29			25	29			24	28	29		24	28	29	24	28	29	
	MR4	25	29			25	29			24	28	29		24	28	29	24	28	29	

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

El valor a escoger de espesor mínimo según la tabla 43 en cm es de 26 cm

Para el espesor del pavimento según la normativa se localiza en la tabla 44 para Tránsito T4.

Tabla 44 Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T4 como factor principal

ESPESOR DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																					
Tránsito T4																					
		S1				S2				S3				S4		S5					
		D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B
SN	MR1	30				29				26	30	29		26	29	28	30	25	29	27	30
	MR2	29				28				25	29	29		25	28	28	30	24	28	27	30
	MR3	28				27				25	28	29		24	27	28	30	23	27	27	30
	MR4	26	30			25	29			23	27	29		23	26	28	30	22	26	27	30
BG	MR1	28				28				26	30	28	30	25	29	28	30	25	28	27	29
	MR2	27				27				25	29	28	30	24	28	28	30	24	27	27	29
	MR3	26				26	30			24	28	28	30	23	27	28	30	23	26	27	29
	MR4	25	29			24	28			23	26	28	30	22	26	28	30	22	25	27	29
BEC	MR1	25	28			24	28	27	29	23	26	26	28	22	25	25	27	22	25	25	27
	MR2	24	27			23	27	27	29	22	25	26	28	21	24	25	27	21	24	25	27
	MR3	23	26			22	26	27	29	21	24	26	28	21	24	25	27	21	23	25	27
	MR4	22	25			22	25	27	29	21	24	26	28	21	24	25	27	21	23	25	27

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

El valor a escoger de espesor mínimo según la tabla 44 en cm es de 23 cm

Finalmente, la comparación de espesores mínimos para el final del horizonte del proyecto es:

Tabla 45 Espesores calculados en cm (Investigación vs Normativa)

Espesores calculados en cm	
Investigación	26
Normativa	23

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

V. DISCUSIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad conocer las magnitudes de carga por eje que se aplican al pavimento rígido; mediante el estudio de control de pesaje para vehículos pesados, específicamente en los vehículos de chasis rígido y chasis articulado; que debido a las cargas que transmiten al pavimento, son aquellos que mayor daño provocan a consecuencia de exceder los pesos permitidos por la normativa vigente en nuestro país.

La mayor causa en el daño de las redes viales en el Ecuador según (Molina, 2018) es el tránsito con cargas excesivas las cuales tiene un impacto muy negativo, ya que se confirmó que reduce su periodo de vida útil entre un 19% y 37%. Es la razón por la que el incremento de daño que recibe el pavimento durante su servicio, está sujeto a la sobre carga de los vehículos en comparación con el uso de cargas convencionales que son recomendados por la norma para estudio y diseños viales volumen 2 - libro A (MTOPI - NEVI-12).

En la circunvalación de la ciudad de Riobamba, específicamente en la Av. Monseñor Leónidas Proaño, en el sector de la “Media Luna”, es un punto que conecta a varios sectores de la ciudad y presenta bastante carga vehicular de tipo pesado; los cuales deterioran mucho más rápido las vías, por ende es un impacto negativo ya que todas las redes viales del país son de uso público y estas deben ser funcionales y seguras.

En el aforo de pesos realizado en el presente trabajo de investigación se pudo observar que la mayoría de vehículos de tipo pesados exceden los pesos máximos permitidos que rige en la normativa, lo que conlleva a un problema grave para el estado de las vías y disminuye su periodo de diseño.

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante los cálculos del método de diseño INVIAS se determinó los espesores de normativa vs los valores requeridos para los espectros de carga encontrados; los espesores tienen una diferencia entre ambos de 3cm; mediante la medición en campo se pudo comprobar el espesor de la losa del pavimento en la circunvalación en el sector de las vías del tren (Anexo 8) dando un valor de 26 cm. Con este resultado se puede expresar que al alcanzar el año horizonte de vida de la circunvalación de Riobamba (Año 2031) se cumplirá con el espesor.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se pudo obtener mediante el oficio Nro. ANT-DPC-2021-0383 emitido por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) que en la ciudad de Riobamba existen mil quinientos catorce (1514) vehículos matriculados, en las operadoras de carga pesada domiciliadas.
- Se determinó mediante el uso de muestras estadísticas para una población finita, un valor de ciento setenta y nueve (179) vehículos como tamaño de la muestra buscada.
- Recopilamos la información del pesaje, un total de trescientos veinte y cinco (325) vehículos de carga por eje en camiones de chasis rígido y articulado mediante el uso de las básculas de las empresas privadas.
- Analizamos el comportamiento vehicular por 7 días y 24 horas, en toda la sección transversal de la Av. Monseñor Leonidas Proaño, parte de la circunvalación de la ciudad de Riobamba; y se puede concluir que existe un importante tránsito vehicular de los tipos liviano con un 76.90% y pesado con un 23.10%, que circulan por esta arteria vial.
- Se estableció la diferencia que existe en el número de repeticiones del eje estándar equivalente de carga ESAL`s de los valores calculados entre la normativa ecuatoriana y los valores del trabajo de investigación; con una diferencia al final del periodo de análisis de 21'193.627.
- Se puede concluir que la diferencia del espesor del pavimento calculado con el modelo de cargas por el MTOP versus el espesor del pavimento requerido para las cargas medidas es de 3 cm.

RECOMENDACIONES

- Se pudo observar que existen valores elevados en las cargas por eje de los vehículos pesados de chasis rígido y articulados medidos en las industrias del sector, se recomienda buscar más alternativas de pesajes para verificar si dichas básculas se encuentran calificadas, de igual forma verificar si los vehículos cuentan con el certificado de operación emitido por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
- De acuerdo con la variación entre el número de ejes aplicados, se recomienda realizar un análisis respecto al módulo de rotura de la capa superior del pavimento.
- Se recomienda realizar puntos de control de pesaje para vehículos de carga tipo pesada en lugares estratégicos y toda la red estatal, y así evitar el daño causado al pavimento de la ciudad de Riobamba.
- Se recomienda para futuros trabajos de investigación, utilizar espectros de carga para mejorar el método de análisis, específicamente en los pesos generados por el tránsito vehicular, con la finalidad de obtener un registro que sea fundamental al momento de diseñar la estructura del pavimento.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Arroyo, N. (2010). *Diseño y conservación de pavimentos rígidos*.
<http://132.248.9.195/ptb2010/noviembre/0664060/Index.html>
- Castro, M., Castro, L., & Castro, P. (2020). *Aplicación práctica del método AASHTO-93 para el diseño de pavimento rígido*. file:///C:/Users/usuario/Downloads/1717-9564-2-PB (1).pdf
- Garnica, P. (2009). *Espectros de carga y daño para diseño de pavimentos*.
[http://94.23.80.242/~aec/ivia/Espectros_de_Carga_y_Daño_para_Diseño_de_Pavimentos_\(Paul_Garnica\).pdf](http://94.23.80.242/~aec/ivia/Espectros_de_Carga_y_Daño_para_Diseño_de_Pavimentos_(Paul_Garnica).pdf)
- IBCH. (2006). *Diseño de pavimentos - AASHTO-93*.
https://www.academia.edu/34103801/Diseno_de_Pavimento_Metodo_AASHTO_93_Espanol_1_
- INVIAS. (2013). *Glosario de manual de diseño geométrico de carreteras*.
<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/glosarios/1017-glosario-manual-diseno-geometrico-carretera/file>
- Mendoza, J., & Solórzano, M. (2018). *Evaluación comparativa de los ejes equivalentes de los vehículos que circulan por la vía Durán-Bolicho obtenidos de los registros de la estación de peaje “Boloche” pesados mediante la metodología mecanicista WIN y los determinados por el método AASHTO-93*.
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/38281>
- Meneses, M., Zuñiga, L., & Haro, S. (2021). *Estadística descriptiva con R. gráficos avanzados y aplicaciones*. <https://doi.org/10.37135/u.editorial.05.35>
- Ministerio de transporte, & Instituto nacional de vías. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*.
<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos->

tecnicos/3807-manual-de-diseno-de-pavimentos-de-concreto-para-vias-con-bajos-medios-y-altos-volumenes-de-transito/file

- Molina, J. (2018). *Consecuencias de cargas excesivas para los pavimentos de la red rodoviaria de Ecuador*.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*.
<https://samustuto.files.wordpress.com/2014/09/ingenieria-de-pavimentos-para-carreteras-tomo-i-ed-3ra-alfonso-montejo-fonseca.pdf>
- NEVI-12 - MTOP. (2013). *Volumen N 2 - Libro a normas para estudio y diseños viales*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_1.pdf
- Pacheco, L., & Pacheco, A. (2015). *Evaluación de la seguridad vial en la carretera Cahuají Empalme vía Ambato-Baños, ubicada en las Provincias de Chimborazo y Tungurahua*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/589>
- Packard, R. (2019). *Diseño de espesores para pavimentos de concreto para carreteras y calles*. <https://pdfcoffee.com/pca-diseo-de-espesores-de-pavimentos-de-concreto-para-calles-y-carreteras-pdf-free.html>
- Patín, Á. (2018). *Reciclado de aceite quemado de vehículo en la estabilización de suelos arenosos*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5156>
- Universidad Mayor de San Simón. (2015). *Manual completo diseño de pavimento*. <https://www.elsolucionario.org/manual-completo-diseno-pavimentos-umss-facultad-ciencias-tecnologia-1ra-edicion/>

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Oficio Agencia Nacional de Tránsito

AGENCIA NACIONAL DE TRÁNSITO

Oficio Nro. ANT-DPC-2021-0383
Riobamba, 29 de marzo de 2021

Asunto: Información sobre vehículos de transporte pesado de la ciudad de Riobamba

Sr.
Daniel Alejandro Orozco Rosas
En su Despacho

De mi consideración:

Con un cordial saludo, por el presente y de conformidad con su atento oficio de marzo 23 de 2021, por el que solicita una certificación de la cantidad de vehículos pesados de la ciudad de Riobamba, al respecto me permito informar que revisados los archivos de este organismo, hasta la presente fecha se encuentran registrados **mil quinientos catorce (1514)**, vehículos, en las operadoras de carga pesada domiciliadas en la ciudad de Riobamba.

Es todo cuanto puedo informar en relación con lo solicitado, para lo que me remito a los archivos que reposan en este organismo.

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,
DIOS, PATRIA Y LIBERTAD

Documento firmado electrónicamente
Abg. Maria Nelly Guaman Anilema
DIRECTORA PROVINCIAL DE CHIMBORAZO

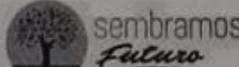
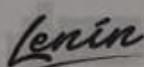
Copia:
Señora Licenciada
Mónica Mercedes Barreno Hernández
Servidor Público de Apoyo 3

Señorita Ingeniera
Nube Piedad Logroño Huilca
Técnico en Emisión de Licencias

mbh

 Firmado electrónicamente por:
**MARIA NELLY
GUAMAN
ANILEMA**

Dirección: Av. Andrés Bello de Baez y Juan Benítez
Quito / Ecuador
Teléfono: 1791 - 000 000
www.ant.gub.ec

Fuente: Agencia nacional de tránsito de Riobamba

Anexo 2. Muestra población finita

Tabla 46 Cálculo de la muestra

DETERMINAR MUESTRA POBLACION FINITA				
VALORES PARA		Za	95%	1.96
Za		p		0.05
95%	1.96	q		0.95
99%	2.58	e		0.03
VALOR ERROR		N		1514
3%	0.03			
VALOR PROPORCION ESPERADA	$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_a^2 * p * q}$			
5%	0.05			
VALOR POBLACION				
1514	n	179		

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Anexo 3. Conteo Vehicular Diario

Tabla 47 Conteo Vehicular Día Lunes

	POLI-LICAN	POLI-CAMPANA	CAMPANA-LICAN	LICAN-CAMPANA	Σ	
LUNES 27/09/2021	AUTOMOVIL	5230	3776	3843	4021	16870
	CAMIONETA	1687	1138	2017	1751	6593
	AUTOBUSES	478	384	415	431	1708
	BICI/MOTO	441	168	253	289	1151
	VOLQUETAS 2 Ejes	43	19	59	47	168
	VOLQUETAS 3 Ejes	55	22	68	70	215
	CAMIONES 2 Ejes	832	630	1010	988	3460
	CAMIONES 3 Ejes	245	116	357	245	963
	MAQUINARIA	3	1	6	1	11
	ESPECIALES	26	15	24	20	85
	T2-S1	7	1	3	1	12
	T2-S2	48	38	55	84	225
	T2-S3	5	4	1	10	20
	T3-S1	1	0	3	0	4
	T3-S2	22	3	31	52	108
	T3-S3	32	2	173	136	343
	Σ TOTAL					31936

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Tabla 48 Conteo Vehicular Día Martes

	POLI-LICAN	POLI-CAMPANA	CAMPANA-LICAN	LICAN-CAMPANA	Σ	
MARTES 28/09/2021	AUTOMOVIL	3987	1987	3812	3910	13696
	CAMIONETA	1618	742	1431	1681	5472
	AUTOBUSES	445	329	411	426	1611
	BICI/MOTO	389	146	205	253	993
	VOLQUETAS 2 Ejes	25	11	41	48	125
	VOLQUETAS 3 Ejes	44	14	53	59	170
	CAMIONES 2 Ejes	746	283	879	812	2720
	CAMIONES 3 Ejes	229	81	343	135	788
	MAQUINARIA	2	0	5	0	7
	ESPECIALES	17	20	27	15	79
	T2-S1	0	0	0	1	1
	T2-S2	5	7	16	9	37
	T2-S3	0	1	0	0	1
	T3-S1	0	0	0	0	0
	T3-S2	9	2	38	37	86
	T3-S3	20	6	128	116	270
	Σ TOTAL					26056

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Tabla 49 Conteo Vehicular Día Miércoles

	POLI-LICAN	POLI-CAMPANA	CAMPANA-LICAN	LICAN-CAMPANA	Σ	
MIÉRCOLES 29/09/2021	AUTOMOVIL	4567	2859	3849	4017	15292
	CAMIONETA	1703	1179	2314	1799	6995
	AUTOBUSES	461	372	416	427	1676
	BICI/MOTO	476	152	288	301	1217
	VOLQUETAS 2 Ejes	47	29	51	50	177
	VOLQUETAS 3 Ejes	60	33	74	63	230
	CAMIONES 2 Ejes	967	723	1209	1134	4033
	CAMIONES 3 Ejes	261	158	388	297	1104
	MAQUINARIA	5	1	6	2	14
	ESPECIALES	20	17	26	18	81
	T2-S1	3	0	2	1	6
	T2-S2	57	46	60	92	255
	T2-S3	5	5	1	8	19
	T3-S1	0	0	3	0	3
	T3-S2	25	6	38	59	128
	T3-S3	37	4	172	140	353
	Σ TOTAL					31583

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Tabla 50 Conteo Vehicular Día Jueves

	POLI-LICAN	POLI-CAMPANA	CAMPANA-LICAN	LICAN-CAMPANA	Σ	
JUEVES 30/09/2021	AUTOMOVIL	4339	2764	3801	3993	14897
	CAMIONETA	1599	982	1628	1516	5725
	AUTOBUSES	466	331	415	429	1641
	BICI/MOTO	457	141	269	222	1089
	VOLQUETAS 2 Ejes	46	27	56	43	172
	VOLQUETAS 3 Ejes	54	29	75	51	209
	CAMIONES 2 Ejes	912	589	1135	1098	3734
	CAMIONES 3 Ejes	234	126	307	214	881
	MAQUINARIA	4	0	3	0	7
	ESPECIALES	23	11	21	17	72
	T2-S1	1	0	0	0	1
	T2-S2	41	30	39	52	162
	T2-S3	7	0	3	0	10
	T3-S1	2	0	3	5	10
	T3-S2	22	5	34	21	82
	T3-S3	36	29	22	54	141
	Σ TOTAL					28833

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Tabla 51 Conteo Vehicular Día Viernes

	POLI-LICAN	POLI-CAMPANA	CAMPANA-LICAN	LICAN-CAMPANA	Σ	
VIERNES 01/10/2021	AUTOMOVIL	5986	3624	4386	5164	19160
	CAMIONETA	2291	987	2067	1757	7102
	AUTOBUSES	566	401	581	650	2198
	BICI/MOTO	546	259	297	323	1425
	VOLQUETAS 2 Ejes	46	34	50	67	197
	VOLQUETAS 3 Ejes	49	38	63	71	221
	CAMIONES 2 Ejes	1086	468	1293	1154	4001
	CAMIONES 3 Ejes	263	122	398	311	1094
	MAQUINARIA	2	0	5	0	7
	ESPECIALES	39	33	51	26	149
	T2-S1	0	0	0	1	1
	T2-S2	45	27	49	58	179
	T2-S3	6	3	1	3	13
	T3-S1	2	4	9	17	32
	T3-S2	37	15	66	53	171
	T3-S3	57	31	136	153	377
	Σ TOTAL					36327

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Tabla 52 Conteo Vehicular Día Sábado

	POLI-LICAN	POLI-CAMPANA	CAMPANA-LICAN	LICAN-CAMPANA	Σ	
SABADO 02/10/2021	AUTOMOVIL	4044	1883	4271	4047	14245
	CAMIONETA	1944	810	1929	1668	6351
	AUTOBUSES	438	292	470	546	1746
	BICI/MOTO	288	173	209	238	908
	VOLQUETAS 2 Ejes	35	21	47	49	152
	VOLQUETAS 3 Ejes	40	29	52	56	177
	CAMIONES 2 Ejes	650	225	968	886	2729
	CAMIONES 3 Ejes	273	66	325	296	960
	MAQUINARIA	1	0	2	5	8
	ESPECIALES	23	18	26	30	97
	T2-S1	0	0	1	0	1
	T2-S2	34	22	68	119	243
	T2-S3	0	0	2	0	2
	T3-S1	0	0	1	1	2
	T3-S2	16	2	50	58	126
	T3-S3	34	5	175	134	348
	Σ TOTAL					28095

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Tabla 53 Conteo Vehicular Día Domingo

	POLI-LICAN	POLI-CAMPANA	CAMPANA-LICAN	LICAN-CAMPANA	Σ	
DOMINGO 03/10/2021	AUTOMOVIL	3749	2411	3789	3882	13831
	CAMIONETA	2013	1115	1274	1598	6000
	AUTOBUSES	286	203	318	457	1264
	BICI/MOTO	450	256	278	289	1273
	VOLQUETAS 2 Ejes	19	15	44	38	116
	VOLQUETAS 3 Ejes	22	22	49	43	136
	CAMIONES 2 Ejes	497	263	589	630	1979
	CAMIONES 3 Ejes	225	58	345	425	1053
	MAQUINARIA	0	0	5	0	5
	ESPECIALES	13	15	20	18	66
	T2-S1	0	0	0	0	0
	T2-S2	27	13	54	91	185
	T2-S3	6	5	7	1	19
	T3-S1	0	0	0	0	0
	T3-S2	7	13	37	65	122
	T3-S3	40	17	138	181	376
	Σ TOTAL					26425

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Anexo 4. Cargas por ejes (datos de Investigación)

Tabla 54 Datos de pesajes por Ejes de los Vehículos de Chasis Rígidos y Articulados

TIPO	NOMENCLATURA	MARCA	EJE	PESO TOTAL	EJE
			DELANTERO		TRASERO
			(Tn)	(Tn)	(Tn)
BAÑERA	T3S3	MERCEDEZ	30.61	62.4	32.15
BAÑERA	T3S3	MERCEDEZ	27.05	66.52	39.58
BAÑERA	T3S3	INTERNATIONAL	18.37	54.42	38.63
BAÑERA	T3S3	KENWORTH	15.58	54.04	38.95
BAÑERA	T3S3	HIUNDAY	20.42	41.23	18.17
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	5.85	40.68	33.28
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	5.71	44.77	36.08
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	7.78	41.41	31.27
MULA	V3A - VZS	HINO	4.44	37.62	31.87
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.12	32.33	24.48
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.68	39.39	30.35
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.71	36.82	28.73
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.79	40.19	30.82
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.35	39.38	30.72
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.63	38.78	30.11
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.48	37.84	33.14
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.05	38.02	29.18
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.41	37.68	28.65
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.37	38.24	30.24
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.39	38.04	29.17
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.12	37.25	28.81
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.29	35.88	27.95
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.43	37.36	28.72
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.32	36.1	27.2
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.05	39.21	30.25
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.45	37.23	28.09
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.22	36.07	27.37
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.37	37.18	28.01
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.05	37.5	28.72
MULA	V3A - VZS	FREIGHTLINER	7.11	36.21	27.52
MULA	V3A - VZS	HINO	6.68	39.28	31.51
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	6.25	38.83	31.66
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	6.48	42.03	34.18
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	7.59	42.55	33.31
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	6.51	41.41	23.08
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	7.01	38.06	35.74
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	6.66	40.08	31.89
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	6.3	42.9	35.15
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	5.49	41.43	34.43
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	6.41	38.05	30.36
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	5.41	43.27	35.71
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	6.89	44.18	35.59
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	5.27	42.94	34.82
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	4.92	42.72	35.01
MULA	V3A - VZS	JAC	6.74	71.53	32.71

MULA	V3A – VZS	HINO	7.01	41.91	35.79
MULA	V3A – VZS	JAC	6.59	41.92	33.12
MULA	V3A – VZS	JAC	6.81	41	32.15
MULA	V3A – VZS	JAC	7.83	39.4	30.2
MULA	V3A - VZS	JAC	7.21	39.15	29.96
MULA	V3A – VZS	JAC	7.33	39.56	30.32
MULA	V3A – VZS	JAC	6.99	40.48	31.28
MULA	V3A - VZS	JAC	6.93	40.07	30.71
MULA	V3A – VZS	JAC	6.74	39.48	30.6
MULA	V3A – VZS	JAC	6.8	39.03	29.98
MULA	V3A – VZS	JAC	6.94	38.18	29.06
MULA	V3A – VZS	JAC	6.87	40.01	30.88
MULA	V3A – VZS	JAC	6.92	38.43	29.02
MULA	V3A – VZS	JAC	6.53	34.95	27.62
MULA	V3A – VZS	JAC	6.65	38.5	30.05
MULA	V3A - VZS	JAC	6.03	41.81	32.24
MULA	V3A – VZS	JAC	6.87	41.26	32.17
MULA	V3A – VZS	JAC	6.43	41.3	32.02
MULA	V3A - VZS	JAC	7.1	43.63	34.01
MULA	V3A – VZS	JAC	6.87	41.33	39.23
MULA	V3A – VZS	JAC	6.75	41.83	32.37
MULA	V3A – VZS	JAC	7.3	40.65	30.97
MULA	V3A – VZS	JAC	6.63	41.2	31.92
MULA	V3A – VZS	JAC	6.71	40.37	31.57
MULA	V3A – VZS	JAC	7.94	40.02	33.72
MULA	V3A – VZS	JAC	7.74	41.58	33.5
MULA	V3A - VZS	JAC	6.89	40.94	32.72
MULA	V3A – VZS	JAC	7.62	39.48	30.29
MULA	V3A – VZS	JAC	7.13	38.34	29.01
MULA	V3A - VZS	JAC	6.67	37.71	28.98
MULA	V3A – VZS	JAC	7.23	39.98	30.15
MULA	V3A – VZS	JAC	7.12	38.5	29.22
MULA	V3A – VZS	JAC	7.22	37.72	28.52
MULA	V3A – VZS	JAC	6.67	37.5	28.76
MULA	V3A – VZS	JAC	6.12	33.97	26.78
MULA	V3A – VZS	HINO	5.89	41.2	23.44
MULA	V3A – VZS	JAC	6.11	39.77	32.47
MULA	V3A - VZS	JAC	5.86	41.59	33.07
MULA	V3A – VZS	JAC	5.89	40.7	32.58
MULA	V3A – VZS	JAC	6.31	39.35	30.64
MULA	V3A - VZS	JAC	6.01	39.66	32.13
MULA	V3A – VZS	JAC	5.72	39.12	32.7
MULA	V3A – VZS	JAC	6.61	39.81	32.71
MULA	V3A – VZS	JAC	6.97	40.58	31.78
MULA	V3A – VZS	JAC	6.32	40.54	32.13
MULA	V3A – VZS	JAC	7.21	39.07	30.08
MULA	V3A – VZS	JAC	6.25	38.61	30.06
MULA	V3A – VZS	JAC	6.32	38.5	29.78
MULA	V3A - VZS	JAC	6.23	38.56	30.34
MULA	V3A – VZS	JAC	6.22	38.5	29.56
MULA	V3A – VZS	JAC	6.15	36.68	28.76
MULA	V3A - VZS	JAC	6.45	38.23	29.87

MULA	V3A – VZS	JAC	6.24	36.86	28.87
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	6.75	43.6	32.35
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	6.77	43.13	34.79
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	6.63	43.88	35.04
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	6.42	42.25	33.72
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	7.06	44.34	34.63
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	7.98	41.9	30.24
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	6.31	41.32	33.85
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	5.39	44.78	36.48
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	5.22	43.43	36.81
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	6.22	43.39	34.91
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	5.76	41.65	35.74
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	6.97	41.79	33.41
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	7.84	44.65	34.51
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	6.67	39.18	31.78
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	5.83	42.82	35.44
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	5.62	43.81	36.88
MULA	V3A – VZS	HINO	4.2	38.51	31.9
MULA	V3A - VZS	HINO	4.08	38.95	30.01
MULA	V3A – VZS	HINO	4.26	38.45	32.02
MULA	V3A – VZS	HINO	4.08	38.42	32.01
MULA	V3A - VZS	HINO	4.15	39.08	32.05
MULA	V3A – VZS	HINO	4.11	39.41	34.01
MULA	V3A – VZS	HINO	4.52	40.53	33.28
MULA	V3A – VZS	HINO	4.23	39.29	32.39
MULA	V3A – VZS	HINO	4.39	38.68	35.63
MULA	V3A – VZS	HINO	6.32	38.85	32.04
MULA	V3A – VZS	HINO	5.1	39.22	31.92
MULA	V3A – VZS	HINO	5.26	40.57	34.72
MULA	V3A - VZS	CHEVROLET	5.67	39.6	32.35
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	6.05	39.69	31.37
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	5.89	38.2	30.57
MULA	V3A - VZS	CHEVROLET	5.79	38.7	31.08
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	6.1	39.22	31.03
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	6.07	41.5	34.77
MULA	V3A – VZS	HINO	4.7	40.9	34.17
MULA	V3A – VZS	HINO	4.99	40.28	32.89
MULA	V3A – VZS	HINO	4.87	40.94	33.68
MULA	V3A – VZS	HINO	4.73	41.89	34.89
MULA	V3A – VZS	HINO	4.81	41.42	34.05
MULA	V3A - VZS	HINO	5.35	43.03	39.79
MULA	V3A – VZS	HINO	3.89	38.09	31.72
MULA	V3A – VZS	HINO	4.17	39.73	37.72
MULA	V3A - VZS	CHEVROLET	5.09	37.47	30.41
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	5.19	38.21	31.4
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	5.34	37.95	37.01
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	5.36	37.64	31.07
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	5.15	37.48	30.32
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	5.74	42.3	34.15
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	5.73	43.3	35.13
MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	5.93	42.28	34.71
MULA	V3A - VZS	CHEVROLET	6.02	42.62	34.06

MULA	V3A – VZS	CHEVROLET	6.27	43.86	32.72
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	5.67	42.93	34.73
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	5.78	41.01	32.56
MULA	V3A – VZS	HINO	3.91	40.39	33.99
MULA	V3A – VZS	HINO	5.29	39.8	32.71
MULA	V3A – VZS	HINO	5.52	40.27	33.35
MULA	V3A – VZS	HINO	6.23	39.78	33.15
MULA	V3A – VZS	HINO	5.55	40.61	33.25
MULA	V3A – VZS	HINO	5.68	41.08	39.01
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	9.56	40.57	39.8
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	10.64	44.95	39.72
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	5.81	43.31	35.52
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	5.32	43.7	35.53
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	5.72	44.91	37.21
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	5.56	43.66	36.78
MULA	V3A – VZS	HINO	5.64	43.18	35.24
MULA	V3A – VZS	HINO	5.64	41.66	34.2
MULA	V3A – VZS	HINO	5.3	42.92	35.78
MULA	V3A – VZS	HINO	5.67	42.62	36.75
MULA	V3A – VZS	HINO	5.55	43.16	35.71
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	6.17	40.37	32.34
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	6.52	42.27	33.28
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	7.18	42.92	34.78
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	7.51	42.19	33.09
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	7.73	42.49	35.2
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	8.31	43.73	33.79
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	6.38	44.39	37.82
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	6.73	40.27	32.78
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	7.39	38.37	30.25
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	6.49	39.98	31.45
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	6.28	61.04	33.22
MULA	V3A – VZS	HINO	3.66	38.02	31.8
MULA	V3A - VZS	HINO	4.88	37.37	32.62
MULA	V3A – VZS	HINO	3.67	37.8	30.58
MULA	V3A – VZS	HINO	4.65	37.34	31.79
MULA	V3A - VZS	HINO	4.65	37.57	31.69
MULA	V3A – VZS	HINO	4.54	37.99	30.9
MULA	V3A – VZS	HINO	4.09	37.54	31.78
MULA	V3A – VZS	HINO	4.4	37.72	29.07
MULA	V3A – VZS	HINO	4.76	39.65	33.13
MULA	V3A – VZS	HINO	4.29	37.84	32.71
MULA	V3A – VZS	HINO	4.5	37.77	31.75
MULA	V3A – VZS	HINO	4.18	36.87	30.43
MULA	V3A - VZS	HINO	4.6	37.94	31.09
MULA	V3A – VZS	HINO	4.17	36.96	30.44
MULA	V3A – VZS	HINO	4.46	37.99	31.03
MULA	V3A - VZS	HINO	4.78	37.94	34.75
MULA	V3A – VZS	HINO	4.49	37.36	30.61
MULA	V3A – VZS	HINO	4.5	38.43	31.73
MULA	V3A – VZS	HINO	3.86	37.47	31.17
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	6.92	42.8	33.5
MULA	V3A – VZS	FREIGHTLINER	5.08	31.51	35.79

MULA	V3A – VZS	HINO	4.52	38.9	32.31
MULA	V3A – VZS	HINO	4.57	38.15	31.88
MULA	V3A - VZS	HINO	5.43	37.91	34.19
MULA	V3A – VZS	HINO	4.56	38.7	33.74
MULA	V3A – VZS	HINO	4.11	37.09	30.82
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	6.74	30.2	22.43
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	6.57	42.44	34.15
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	6.62	43.65	35.23
MULA	V3A – VZS	HINO	7.88	51.47	39.62
MULA	V3A – VZS	HINO	8.9	50.19	39.21
MULA	V3A – VZS	HINO	8	52.49	41.32
MULA	V3A – VZS	HINO	8.67	51.27	39.73
MULA	V3A – VZS	HINO	8.58	50.59	39.78
MULA	V3A - VZS	HINO	8.88	52.25	40.43
MULA	V3A – VZS	HINO	4.2	38.43	31.73
MULA	V3A – VZS	HINO	4.28	38.72	31.73
MULA	V3A - VZS	HINO	3.75	38.55	32.28
MULA	V3A – VZS	HINO	4.81	38.71	32.17
MULA	V3A – VZS	HINO	4.21	38.75	32.25
MULA	V3A – VZS	HINO	7.25	39.62	33.12
MULA	V3A – VZS	HINO	5.27	41.75	32.21
MULA	V3A – VZS	HINO	5.8	40.85	33.12
MULA	V3A – VZS	HINO	5.83	41.16	32.19
MULA	V3A – VZS	HINO	6.54	41.93	33.79
MULA	V3A - VZS	HINO	7.8	43.22	33.95
MULA	V3A – VZS	HINO	6.12	43.19	36.72
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	6.71	40.37	32.01
MULA	V3A - VZS	MERCEDEZ	7.32	39.81	30.24
MULA	V3A – VZS	HINO	4.79	37.68	31.68
MULA	V3A – VZS	HINO	4.16	37.96	31.81
MULA	V3A – VZS	HINO	3.99	37.11	32.42
MULA	V3A – VZS	HINO	5.08	37.7	33.72
MULA	V3A – VZS	HINO	3.92	37.23	31.81
MULA	V3A – VZS	HINO	4.3	36.18	30.07
MULA	V3A – VZS	HINO	4.39	38.75	32.54
MULA	V3A - VZS	HINO	4.89	37.59	37.02
MULA	V3A – VZS	HINO	3.96	39.93	34.78
MULA	V3A – VZS	HINO	3.9	38.33	32.18
MULA	V3A - VZS	HINO	3.97	39.92	34.17
MULA	V3A – VZS	HINO	3.33	37.8	32.12
MULA	V3A – VZS	HINO	3.94	38.6	36
MULA	V3A – VZS	HINO	3.23	38.47	32.41
MULA	V3A – VZS	HINO	3.99	37.2	31.02
MULA	V3A – VZS	HINO	3.87	30.09	30.13
MULA	V3A – VZS	HINO	3.97	38.09	32.71
MULA	V3A – VZS	HINO	4.27	38.62	32.31
MULA	V3A - VZS	HINO	4.17	39.65	34.71
MULA	V3A – VZS	HINO	4.18	39.53	32.92
MULA	V3A – VZS	HINO	4.25	39.6	32.2
MULA	V3A - VZS	HINO	4.29	38.37	32.17
MULA	V3A – VZS	HINO	4.92	39.01	32.07
MULA	V3A – VZS	HINO	4.22	39.27	32.37

MULA	V3A – VZS	HINO	4.67	38.71	32.14
MULA	V3A – VZS	HIUNDAY	6.95	22.84	20.01
MULA	V3A – VZS	HIUNDAY	6.84	21.57	19.72
MULA	V3A – VZS	HIUNDAY	7.15	27.19	18.74
MULA	V3A – VZS	HIUNDAY	7.28	25.7	19.87
MULA	V3A - VZS	HINO	7.44	40.78	35.5
MULA	V3A – VZS	HINO	7.17	43.47	35.01
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	7.31	42.2	33.07
MULA	V3A - VZS	HINO	4.6	37.29	30.53
MULA	V3A – VZS	HINO	4.58	34.56	28.15
MULA	V3A – VZS	HINO	4.64	38.32	31.81
MULA	V3A – VZS	HINO	4.26	37.82	30.27
MULA	V3A – VZS	HINO	4.96	39.09	32.51
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	5.89	43.19	34.78
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	5.76	40.79	37.81
MULA	V3A – VZS	MERCEDEZ	5.23	41.49	33.59
SENCILLO	V2DB	HINO	5.52	22.62	13.42
SENCILLO	V2DB	HINO	5.31	22.6	16.06
SENCILLO	V2DB	HINO	5.32	23.11	14.56
SENCILLO	V2DB	HINO	6.03	22.8	15.78
SENCILLO	V2DB	HINO	5.99	22	17.99
SENCILLO	V2DB	HINO	4.93	21.81	15.64
SENCILLO	V2DB	CHEVROLET	5.72	22.76	1.82
SENCILLO	V2DB	HINO	5.73	24.56	17.41
SENCILLO	V2DB	HINO	5.13	23.27	16.87
SENCILLO	V2DB	HINO	5.12	21.82	16.55
SENCILLO	V2DB	HINO	5.15	23.73	17.16
SENCILLO	V2DB	HINO	5.42	23.79	18.72
SENCILLO	V2DB	HINO	5.62	22.7	16.09
SENCILLO	V2DB	HINO	5.68	22.45	15.93
SENCILLO	V2DB	HINO	5.48	22.63	15.96
SENCILLO	V2DB	HINO	5.35	23.68	16.85
SENCILLO	V2DB	HINO	5.89	23.81	16.86
SENCILLO	V2DB	HINO	4.98	22.91	17.94
SENCILLO	V2DB	HINO	4.1	18.76	13.67
SENCILLO	V2DB	HINO	4.72	22.7	16.82
SENCILLO	V2DB	HINO	4.25	23.42	17.23
SENCILLO	V2DB	HINO	5.69	23.71	18.42
SENCILLO	V2DB	HINO	5.16	24.51	18.37
SENCILLO	V2DB	HINO	5.32	22.66	16.62
SENCILLO	V2DB	HINO	4.79	22.33	17.29
SENCILLO	V2DB	HINO	5.58	22.63	17.31
SENCILLO	V2DB	HINO	4.72	22.74	16.51
SENCILLO	V2DB	HINO	5.41	22.13	21.91
SENCILLO	V2DB	HINO	4.73	23.6	17.32
SENCILLO	V2DB	HINO	5.13	22.87	16.91
SENCILLO	V2DB	HINO	4.53	21.41	16.72
SENCILLO	V2DB	HINO	4.41	21.43	15.9
SENCILLO	V2DB	HINO	4.53	21.41	16.72
SENCILLO	V2DB	HINO	4.58	22.33	17.14
SENCILLO	V2DB	HINO	4.69	21.59	15.61
SENCILLO	V2DB	HINO	4.33	20.65	15.15

SENCILLO	V2DB	HINO	4.62	20.6	14.82
SENCILLO	V2DB	HINO	4.64	21.98	15.96
SENCILLO	V2DB	HINO	4.37	20.35	14.72
SENCILLO	V2DB	HINO	5.23	22.51	15.99
SENCILLO	V2DB	HINO	5.28	22.92	18.42
TRAILER	T3S3	FREIGHTLINER	38.67	62.78	38.92
TRAILER	T3S3	FREIGHTLINER	22.67	50.63	28.48
TRAILER	T3S3	FREIGHTLINER	26.43	50.54	27.54
TRAILER	T3S3	FREIGHTLINER	26.03	50.68	28.11
TRAILER	T3S3	FREIGHTLINER	25.42	50.71	27.3
TRAILER	T3S3	FREIGHTLINER	25.98	50.59	30.77
TRAILER	T3S3	FREIGHTLINER	25.78	50.29	28.21
TRAILER	T3S3	FREIGHTLINER	23.54	50.17	28.05
TRAILER	T3S3	KENWORTH	26.44	63.75	38.63
TRAILER	T3S3	INTERNATIONAL	20.81	49.17	28.95
TRAILER	T3S3	INTERNATIONAL	19.78	48.73	26.94
TRAILER	T3S3	INTERNATIONAL	23.42	51.01	32.56
TRAILER	T3S3	INTERNATIONAL	23.56	50.12	31.98
TRAILER	T3S3	INTERNATIONAL	24.11	49.86	30.72
TRAILER	T3S3	INTERNATIONAL	21.72	49.25	29.98

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Anexo 5. Cálculo del TPDA

Tabla 55 Cálculo de tráfico futuro para vehículos tipo livianos

por: & Riera, J.												Elaborado Orozco, D. (2022)
						K	95%	1.96	n	3	6	
Livianos		Σ	TPDS	S	$\sigma=E$	TPDA	i%	TF (3)	TF (6)	TF (9)	TF (12)	
Lunes	24614								9	12		
Martes	20161											
Miércoles	23504											
Jueves	21711	160285	22898	2591.92	971.55	24802	3.27	27315.60	30083.84	33132.62	36490.38	
Viernes	27687											
Sábado	21504											
Domingo	21104											

Tabla 56 Cálculo de tráfico futuro para vehículos tipo buses

						K	95%	1.96	n	3	6	
Bus		Σ	TPDS	S	$\sigma=E$	TPDA	i%	TF (3)	TF (6)	TF (9)	TF (12)	
Lunes	1793								9	12		
Martes	1690											
Miércoles	1757											
Jueves	1713	12473	1782	300.34	112.58	2003	1.54	2096.46	2194.81	2297.78	2406	
Viernes	2347											
Sábado	1843											
Domingo	1330											

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Tabla 57 Cálculo de tráfico futuro para vehículos tipo pesados

		K	95%	1.96	n	$\frac{3}{9}$	$\frac{6}{12}$				
Pesado	Σ	TPDS	S	$\sigma=E$	TPDA	i%	TF (3)	TF (6)	TF (9)	TF (12)	
Lunes	5529										
Martes	4205										
Miércoles	6322										
Jueves	5409	36497	5214	936	351	6040	2.48	6500.50	6996.23	7529.76	8103.98
Viernes	6293										
Sábado	4748										
Domingo	3991										

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Tabla 58 Cálculo de tráfico promedio diario anual de vehículos tipo pesados desglosados

Pesado							
Día	Camión 2 Ejes	Camión 3 Ejes	Volqueta 2 Ejes	Volqueta 3 Ejes	Tráiler	Maquinaria	Bus
Lunes	3460	963	168	215	712	11	1793
Martes	2720	788	125	170	395	7	1690
Miércoles	4033	1104	177	230	764	14	1757
Jueves	3734	881	172	209	406	7	1713
Viernes	4001	1094	197	221	773	7	2347
Sábado	2729	960	152	177	722	8	1843
Domingo	1979	1053	116	136	702	5	1330
∑ Parcial	22656	6843	1107	1358	4474	59	12473
∑ Total				48970			
TPDS	3237	978	158	194	639	8	1782
S	777	116	29	34	165	3	300
σ=E	291	44	11	13	62	1	112.58
TPDA	3807	1063	179	219	760	11	2003
%	47.34	13.22	2.23	2.72	9.46	0.13	24.90
				100.00			

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Anexo 6. Pesaje de Vehículos Pesados



Figura 17 Pesaje de Vehículo tipo Sencillo en báscula de la empresa 1

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 18 Pesaje de Vehículo tipo Tándem en báscula de la empresa 1
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 19 Pesaje de Vehículo tipo Articulado en báscula de la empresa 1
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 20 Báscula de la empresa 1
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 21 Av. Pedro Vicente y av. Monseñor Leónidas Proaño, Sector Media Luna donde se realizó el conteo vehicular
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 22 Av. Pedro Vicente y av. Monseñor Leónidas Proaño, Sector Media Luna donde se realizó el conteo vehicular
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 23 Vehículo tipo Tráiler esperando carga en la empresa 2

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 24 Certificado de Operación del Vehículo
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 25 Datos Autorizados para el Transporte Pesado
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



Figura 26 Pantalla de pesaje con carga de la empresa 2
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)



*Figura 27 Pantalla de pesaje con carga de la empresa 1
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)*



*Figura 28 Pesaje de Vehículo tipo Tráiler en báscula de la empresa 2
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)*



*Figura 29 Carretera panamericana sur planta principal de la empresa 2
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)*



Figura 30 Control y monitoreo vehicular a través de las cámaras utilizadas para el conteo vehicular

Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)

Anexo 7. Valores Recomendados para el Módulo de Rotura

Tabla 59 Módulo de Rotura Recomendado

Tipo de Pavimento	MR recomendado	
	Kg/cm ²	psi
Autopistas	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas Industriales	45.0	640.1
Urbanas Principales	45.0	640.1
Urbanas Secundarias	42.0	597.4

Fuente: (Castro et al., 2020)

Anexo 8. Espesor de Losa en la Circunvalación de Riobamba



Figura 31 Espesor de Losa en la Circunvalación de Riobamba
Elaborado por: Orozco, D. & Riera, J. (2022)