



Disertación

Maestría en Ingeniería Civil / Construcciones Civiles

**Consecuencias de Cargas Excesivas para los  
Pavimentos de la Red Rodoviaria de Ecuador.**

**John Jairo Molina Moreira**

**Leiria, Septiembre 2018**

*Esta página fue intencionalmente dejada en blanco*



Disertación

Maestría en Ingeniería Civil / Construcciones Civiles

# **Consecuencias de Cargas Excesivas para los Pavimentos de la Red Rodoviaria de Ecuador.**

**John Jairo Molina Moreira**

Tesis de Maestría realizada bajo la orientación del Doctor João Pedro Cruz da Silva, Profesor de la Escuela Superior de Tecnología y Gestión del Instituto Politécnico de Leiria, la Orientación de la Doctora Armanda Almeida Profesora de la Universidad de Coímbra y la Codirección del Magister Carlos Villacreses Viteri, Decano de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.

Leiria, Septiembre de 2018

*Esta página fue intencionalmente dejada en blanco*

## **Dedicatoria**

---

Dedico este trabajo en primer lugar a mi esposa e hija por ser el pilar fundamental que me impulsa a querer ser mejor ser humano cada día y dejar un legado que pueda enorgullecerlas.

A mis padres quienes me han sabido educar con valores y respeto quienes siempre estuvieron apoyándome en las buenas y en las malas.

A mis profesores, Dr. João Silva, Dra. Arminda Almeida e Ing. Carlos Villacreses quienes han sabido guiarme a lo largo de todo este proceso investigativo y me han compartido un sinnúmero de conocimientos.

Finalmente dedico este trabajo a cada persona que ha sabido apoyarme y brindarme su sincera amistad.

*Esta página fue intencionalmente dejada en blanco*

## **Agradecimientos**

---

Agradezco a Dios en primer lugar por brindarme sabiduría, vida y salud a lo largo de todo este proceso investigativo.

Agradezco a mi esposa e hija por su paciencia y apoyo durante el proceso de estudio e investigación de esta maestría y por siempre brindarme su amor y cariño en cualquier situación negativa o positiva que se nos haya atravesado a lo largo de esta aventura.

También agradezco infinitamente a mis padres ya que sin ellos no habría podido llegar hasta aquí, a mi madre por toda su bondad su paciencia y su amor infinito y a mi padre quien en vida supo inculcarme los valores que debe tener un hombre como ser humano y como profesor y ahora que no está conmigo en vida sé que me guía y me brinda su sabiduría.

A mis hermanos por haber sido a lo largo de mi vida amigos, compañeros y confidentes, sin su ayuda ningún logro mío habría podido ser.

Finalmente agradezco a mis profesores, Dr. João Silva, Dra. Arminda Almeida e Ing. Carlos Villacreses quienes han sabido guiarme a lo largo de todo este proceso investigativo y quienes con su paciencia y profesionalismo han hecho de mí un mejor profesional.

*Esta página fue intencionalmente dejada en blanco*

## Resumen

---

La presente investigación realiza el estudio de las consecuencias estructurales en los pavimentos de la red rodoviaria de Ecuador debido a los vehículos que circulan con cargas en exceso, mediante el empleo de cálculos matemáticos y la implementación de software's de simulación de cargamentos y cálculo de esfuerzos, con la finalidad de conocer cuál es la variación del periodo de duración de dichos pavimentos al compararlos con varios escenarios de circulación de tránsito, de condiciones climáticas y espesores de capas asfálticas.

Estos escenarios de circulación de tránsito, de condiciones climáticas y de capas asfálticas son los que permiten entender de manera clara cuál es el fenómeno lo más parecido a lo real que sufren los asfaltos en cuanto a las descargas de peso que reciben y por ende al daño provocado sobre los mismos.

Esta tesis de investigación describe los antecedentes históricos de la red vial nacional, así como el objetivo general y los objetivos específicos planteados y la metodología adoptada para obtener los resultados finales esperados. Refiere los conceptos teóricos y la importancia de un correcto cálculo del daño hacia el pavimento y la obtención de los periodos de vida útil sobre los pavimentos flexibles, también se exponen las características de la red vial nacional y los tipos de vehículos que circulan por ella así como la implementación del software TruckSim para la simulación de los vehículos y la obtención de las descargas por eje y tipo de vehículo para los varios escenarios de circulación planteados. Se presentan todos los escenarios de comparación para la obtención de las agresividades en el asfalto así como los módulos de deformabilidad y el cálculo de las extensiones en los puntos críticos del pavimento con la implementación del software KenPave, con lo cual se pudo determinar el número de ejes equivalentes para tres corrientes diferentes de circulación vehicular y un periodo de duración de 20 años, obteniéndose una pérdida del periodo de vida útil que varía entre el 19% y el 37% cuando se circula con exceso de carga.

***Palabras clave:*** Factores de Agresividad, Tráfico de Vehículos Pesados, Pavimentos Rodoviarios Flexibles.

*Esta página fue intencionalmente dejada en blanco*

## Abstract

---

The present investigation makes the study of the structural consequences in the pavements of the road network of Ecuador due to heavy vehicles that circulate with excess loads, using mathematical calculations and a load simulation and efforts calculation software, with the purpose of determining the life span variation of pavements in several scenarios of traffic circulation, climatic conditions and thickness of asphalt layers.

These scenarios of traffic circulation, climatic conditions and asphalt layers allow the understanding of the real conditions in asphalt layers of the weight loads and therefore their damage. This research thesis describes the historical background of the national road network, as well as the general objective and the specific objectives set and the methodology adopted to obtain the expected final results. It refers the theoretical concepts and the importance of a correct calculation of the damage to the pavement and the obtaining of the periods of useful life on the flexible pavements; also the characteristics of the national road network and the types of vehicles that circulate through it are exposed. TruckSim software was used for the heavy vehicles simulation and their loads by axis and type of vehicle for the several traffic and road circulation scenarios. All the comparison scenarios for obtaining asphalt load factors as well as the deformability modules and the calculation of the extensions in the critical points of the pavement were obtained using the KenPave software, with which it was possible to determine the number of equivalent axes for three different currents of vehicular traffic and a period of 20 years, obtaining a loss of useful life that varies between 19% and 37% when driving with excess load.

***Keywords:*** *Load Factors, Heavy Vehicle Traffic, Flexible Pavements.*

*Esta página fue intencionalmente dejada en blanco*

## Lista de figuras

---

Figura 2.1: Procedimiento de Diseño .....	10
Figura 2.2: Procedimiento de diseño Mecánico – Empírico.....	11
Figura 2.3: Desempeño de los diseños en los pavimentos existentes .....	11
Figura 2.4: Modelo estructural. ....	14
Figura 2.5: Roderas por fallas en la subrasante .....	19
Figura 2.6: Roderas por fallas en la mezcla .....	19
Figura 3.1: Vehículos matriculados, según clase - Año 2016 .....	29
Figura 3.2: Composición del transporte terrestre en el Ecuador. Año 2008.....	30
Figura 3.3: Evolución del transporte de pasajeros y de carga en el Ecuador .....	30
Figura 3.4: vehículos principales que circulan en el Ecuador con respectiva Simbología técnica según NEVI-12.....	31
Figura 3.5: tipos y denominación de vehículos utilizados en la Investigación. ....	32
Figura 3.6: Diferentes vehículos livianos (2 ejes simples).....	36
Figura 3.7: Vehículos livianos con excesos de carga (2 ejes simples).....	37
Figura 3.8: Bus transitando por la vía E30 .....	37
Figura 3.9: Volqueta con tablón en la parte del balde, con la finalidad de generar mayor volumen de transporte de carga que lo permitido .....	38
Figura 3.10: Volquetas con tres ejes (1 simple – 2 dobles) .....	38
Figura 3.11: Transporte de carga pesada con 5 ejes (1 simple – 4 dobles).....	39
Figura 3.12: Vehículo liviano con exceso de carga, notorio asentamiento en eje trasero .....	39
Figura 3.13: Vía interurbana en la ciudad de Portoviejo. Calle José María Urbina y Cesar Chávez Cañarte .....	43
Figura 3.14: Detalle grafico de una via y sus partes .....	44
Figura 3.15: Vista general del software TruckSim .....	55
Figura 3.16: Ventana de edición de vehículos .....	55
Figura 3.17: Ventana de cálculo o corrida del programa.....	56
Figura 3.18: Fuerza descargada por los neumáticos sobre el pavimento a lo largo del recorrido .....	56
Figura 3.19: Ventana de edición de las cargas del vehículo .....	57
Figura 3.20: Camión de dos ejes simples que se editara a volqueta de dos ejes simples de 8m <sup>3</sup> .....	58
Figura 3.21: Ventana de edición donde se puede crear la volqueta de 2 ejes simples (V2DB) .....	58
Figura 3.22: Chasis con elevador de cajón para volquetas .....	59
Figura 3.23: Cajón para volquetas.....	59
Figura 3.24: Volqueta editada de 2 ejes simples (V2DB) .....	60
Figura 3.25: Vehículo que simula a buses (BUS) .....	60
Figura 3.26: Vehículo que simula el tracto camión de 5 ejes (T3-S2).....	61
Figura 3.27: Camioneta de ejes simples (Pick-Up) .....	61
Figura 3.28: Pantalla de edición de las características de la vía. ....	62
Figura 3.29: Modelo de vía recta.....	62
Figura 3.30: Modelo de vía con sinuosidad .....	63
Figura 3.31: Perfil de rugosidad alta de la vía .....	63
Figura 3.32: Perfil de rugosidad baja de la vía .....	64
Figura 3.33: Diseño geométrico de vía sinuosa en AutoCAD y coordenadas transversales.....	64
Figura 3.34: Vía sinuosa simulada en software TruckSim vista 2D .....	65
Figura 3.35: Vía sinuosa simulada en software TruckSim vista 3D .....	65
Figura 3.36: Ventana de edición de la pendiente longitudinal de las vías.....	66
Figura 3.37: Ventana del software mientras calcula los resultados.....	66
Figura 3.38: visualización gráfica de los resultados. ....	67

<b>Figura 3.39: Tabla de datos estadísticos principales del cálculo realizado .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 3.40: Ejemplo de valores retirados del TruckSim para la obtención de 85 percentil de las cargas dinámicas ejercidas por los neumáticos. ....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 4.1: Comparativa de Agresividades entre los varios escenarios de simulación para vehículo V2DB .....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 4.2: agresividades de las corrientes 1, 2 y 3 para el escenario 1 .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 4.3: Esquema de estructura de mezcla asfáltica de capa espesa .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 4.4: Esquema de estructura de mezcla asfáltica de capa delgada .....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 4.5: Comparación en la vida útil del pavimento para el efecto rugosidad, pendiente y recta – curva en Portoviejo para corriente 1 y capa delgada .....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 4.6: Comparación en la vida útil del pavimento para el efecto rugosidad, pendiente y recta – curva en Portoviejo para corriente 1 y capa espesa .....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 4.7: Comparación en la vida útil del pavimento para el efecto rugosidad, pendiente y recta – curva en Tulcán para corriente 1 (capa espesa y delgada).....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 4.8: Comparativa del TPDA para las tres corrientes de trafico al 5% de pendiente (Portoviejo).....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 4.9: Comparativa del TPDA para las tres corrientes de trafico al 5% de pendiente (Tulcán) .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 7.1: Tabla climática histórica de la ciudad de Portoviejo .....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 7.2: Tabla climática histórica de la ciudad de Tulcán .....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 7.3: ventana de información general del software Kenpave .....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 7.4: ventana de edición de las coordenadas Z de respuesta del software KenPave, .....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 7.5: ventana de edición de los módulos de deformabilidad de cada capa del software KenPave.....</b>	<b>115</b>

*Esta página fue intencionalmente dejada en blanco*

## Lista de tablas

Tabla 2.1: Ecuaciones de fatiga.....	17
Tabla 2.2: Leyes de comportamiento de la Deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante.....	21
Tabla 2.3: Valores del Factor de distribución por sentido.....	22
Tabla 2.4: Ejemplo de transformación de camión a Factor de Carga Equivalente.....	24
Tabla 2.5: Ejemplo de transformación de camión a Factor de Carga Equivalente.....	25
Tabla 3.1: Tasa de crecimiento anual del Tráfico en Ecuador.....	32
Tabla 3.2: Tasa de crecimiento anual del tráfico vehicular en Manabí.....	32
Tabla 3.3: Características por tipos de vehículos.....	34
Tabla 3.4: Tráfico promedio diario de las vías en estudio: Entrada a la ciudad.....	35
Tabla 3.5: Tráfico promedio diario de las vías en estudio: Salida de ciudad.....	35
Tabla 3.6: Tráfico promedio diario de las vías en estudio: Salida y Entrada de ciudad.....	35
Tabla 3.7: Porcentaje promedio de vehículos que circulan en Portoviejo (Vacíos, MOPT, Sobre carga): Entrada hacia la ciudad.....	40
Tabla 3.8: Porcentaje promedio de vehículos que circulan en Portoviejo (Vacíos, MOPT, Sobre carga): Salida de la ciudad.....	40
Tabla 3.9: Porcentaje promedio de vehículos que circulan en Portoviejo (Vacíos, MOPT, Sobre carga): Promedio Salida y Entrada.....	40
Tabla 3.10: Clasificación Funcional de las Vías en base al TPDA.....	41
Tabla 3.11: Clasificación de las Vías según tipo de estructura.....	46
Tabla 3.12: Red Vial Nacional Según Categoría de Camino.....	47
Tabla 3.13: Comparativa entre las cargas estimadas por el MOPT y las cargas Halladas.....	49
Tabla 3.14: Cargas halladas por el autor de vehículos con exceso de carga (en Ton)....	50
Tabla 3.15: Factor equivalente de carga para ejes de 8,2 Ton (80 kN) para capas asfálticas de 6” y factor de importancia pt de 2.5.....	51
Tabla 3.16: Factor Camión (Agresividad) de la corriente promedio de tránsito en Portoviejo para un factor de importancia pt de 2.5.....	52
Tabla 3.17: Tasa de crecimiento Anual de tráfico vehicular en Manabí para el periodo 2015-2035.....	52
Tabla 3.18: Numero de ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño con valores hallados por el autor.....	53
Tabla 3.19: Comparación entre cargas estáticas halladas por el autor y las dinámicas del software TruckSim para vía recta e IRI alto (en Ton).....	70
Tabla 4.1: Descarga dinámica por eje para cada escenario y vehículo tipo: Volqueta de dos ejes (V2DB) en kN.....	73
Tabla 4.2: Agresividades para los varios escenarios de la volqueta de 2 ejes V2DB.....	75
Tabla 4.3: Resumen de agresividades para la corriente de tráfico tipo 1.....	79
Tabla 4.4: Resumen de agresividades para la corriente de tráfico tipo 2.....	79
Tabla 4.5: Resumen de agresividades para la corriente de tráfico tipo 3.....	79
Tabla 4.6: Temperatura media anual AATB a la mitad del espesor de una capa asfáltica de 26 cm y 18 cm para Portoviejo.....	82
Tabla 4.7: Temperatura media anual AATB a la mitad del espesor de una capa asfáltica de 26 cm y 18 cm para Tulcán.....	82
Tabla 4.8: Grado de penetración para cada las ciudades escogidas.....	83
Tabla 4.9: Módulo de deformabilidad para estructura de capa delgada a 70 km/h para Portoviejo y Tulcán.....	83
Tabla 4.10: Módulo de deformabilidad para estructura de capa Espesa a 70 km/h para Portoviejo y Tulcán.....	84
Tabla 4.11: Numero de ejes equivalentes que la estructura delgada soporta.....	85
Tabla 4.12: Numero de número de vehículos pesados que la estructura delgada soporta.....	85

<b>Tabla 4.13: TPDA</b> .....	85
<b>Tabla 7.1: Coordenadas transversales y verticales de vía sinuosa diseñada</b> .....	96
<b>Tabla 7.2: Descarga dinámica por eje para cada escenario y vehículo tipo: Bus en (kN)</b> .....	97
<b>Tabla 7.3: Descarga dinámica por eje para cada escenario y vehículo tipo: Volqueta de tres ejes (3VA) en kN</b> .....	98
<b>Tabla 7.4: Descarga dinámica por eje para cada escenario y vehículo tipo: Tracto Camión 5 ejes (T3-S2) en kN</b> .....	99
<b>Tabla 7.5: Descarga dinámica por eje para cada escenario y vehículo tipo: Liviano (Pick-Up) en kN</b> .....	100
<b>Tabla 7.6: Agresividades para los varios escenarios del BUS de 2 ejes</b> .....	101
<b>Tabla 7.7: Agresividades para los varios escenarios de la volqueta de 3 ejes V3A.</b> ....	102
<b>Tabla 7.8: Agresividades para los varios escenarios del Tracto Camión de 5 ejes T3-S2.</b> .....	103
<b>Tabla 7.9: Agresividades para los varios escenarios del vehículo liviano Pick Up</b> .....	104
<b>Tabla 7.10: Agresividad de la corriente vehicular 1 para el escenario 1</b> .....	105
<b>Tabla 7.11: Agresividad de la corriente vehicular 1 para el escenario 2</b> .....	105
<b>Tabla 7.12: Agresividad de la corriente vehicular 1 para el escenario 3</b> .....	105
<b>Tabla 7.13: Agresividad de la corriente vehicular 1 para el escenario 4</b> .....	105
<b>Tabla 7.14: Agresividad de la corriente vehicular 1 para el escenario 7</b> .....	106
<b>Tabla 7.15: Agresividad de la corriente vehicular 1 para el escenario 8</b> .....	106
<b>Tabla 7.16: Agresividad de la corriente vehicular 2 para el escenario 1</b> .....	106
<b>Tabla 7.17: Agresividad de la corriente vehicular 2 para el escenario 2</b> .....	106
<b>Tabla 7.18: Agresividad de la corriente vehicular 2 para el escenario 3</b> .....	107
<b>Tabla 7.19: Agresividad de la corriente vehicular 2 para el escenario 4</b> .....	107
<b>Tabla 7.20: Agresividad de la corriente vehicular 2 para el escenario 7</b> .....	107
<b>Tabla 7.21: Agresividad de la corriente vehicular 2 para el escenario 8</b> .....	107
<b>Tabla 7.22: Agresividad de la corriente vehicular 3 para el escenario 1</b> .....	108
<b>Tabla 7.23: Agresividad de la corriente vehicular 3 para el escenario 2</b> .....	108
<b>Tabla 7.24: Agresividad de la corriente vehicular 3 para el escenario 3</b> .....	108
<b>Tabla 7.25: Agresividad de la corriente vehicular 3 para el escenario 4</b> .....	108
<b>Tabla 7.26: Agresividad de la corriente vehicular 3 para el escenario 7</b> .....	109
<b>Tabla 7.27: Agresividad de la corriente vehicular 3 para el escenario 8</b> .....	109
<b>Tabla 7.28: Numero de ejes equivalentes que la estructura espesa soporta para la Corriente 1</b> .....	109
<b>Tabla 7.29: Número de vehículos pesados que la estructura espesa soporta</b> .....	109
<b>Tabla 7.30: TPDA</b> .....	109
<b>Tabla 7.31: Numero de ejes equivalentes que la estructura delgada soporta para la Corriente 2</b> .....	109
<b>Tabla 7.32: Número de vehículos pesados que la estructura delgada soporta</b> .....	110
<b>Tabla 7.33: TPDA</b> .....	110
<b>Tabla 7.34: Numero de ejes equivalentes que la estructura espesa soporta para la Corriente 2</b> .....	110
<b>Tabla 7.35: Número de vehículos pesados que la estructura espesa soporta</b> .....	110
<b>Tabla 7.36: TPDA</b> .....	110
<b>Tabla 7.37: Numero de ejes equivalentes que la estructura delgada soporta para la Corriente 3</b> .....	110
<b>Tabla 7.38: Número de vehículos pesados que la estructura delgada soporta</b> .....	111
<b>Tabla 7.39: TPDA</b> .....	111
<b>Tabla 7.40: Numero de ejes equivalentes que la estructura espesa soporta para la Corriente 3</b> .....	111
<b>Tabla 7.41: Número de vehículos pesados que la estructura espesa soporta</b> .....	111
<b>Tabla 7.42: TMDA</b> .....	111
<b>Tabla 7.43: Módulo de deformabilidad para estructura de capa delgada a 50km/h para Portoviejo y Tulcán</b> .....	112

<b>Tabla 7.44: Módulo de deformabilidad para estructura de capa espesa a 50km/h para Portoviejo y Tulcán.....</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 7.45: Módulo de deformabilidad para estructura de capa delgada a 30km/h para Portoviejo y Tulcán.....</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 7.46: Módulo de deformabilidad para estructura de capa espesa a 30km/h para Portoviejo y Tulcán.....</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 7.47: Extensiones en el pavimento de capa delgada para Portoviejo y velocidad de 70km/h .....</b>	<b>117</b>
<b>Tabla 7.48: Extensiones en el pavimento de capa delgada y gruesa para Portoviejo y velocidad de 70km/h.....</b>	<b>117</b>
<b>Tabla 7.49: Extensiones en el pavimento de capa delgada y gruesa para Portoviejo y velocidad de 50km/h.....</b>	<b>117</b>
<b>Tabla 7.50: Extensiones en el pavimento de capa delgada y gruesa para Portoviejo y velocidad de 30km/h.....</b>	<b>118</b>
<b>Tabla 7.51: Extensiones en el pavimento de capa delgada y gruesa para Tulcán y velocidad de 70km/h.....</b>	<b>118</b>
<b>Tabla 7.52: Extensiones en el pavimento de capa delgada y gruesa para Tulcán y velocidad de 50km/h.....</b>	<b>118</b>
<b>Tabla 7.53: Extensiones en el pavimento de capa delgada y gruesa para Tulcán y velocidad de 30km/h.....</b>	<b>119</b>

*Esta página fue intencionalmente dejada en blanco*

# Índice

---

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1	Antecedentes (Enquadramiento)	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Metodología Adoptada	2
<b>2</b>	<b>ESTADO DEL ARTE</b>	<b>7</b>
2.1	Introducción	7
2.2	Métodos de Dimensionamiento	7
2.2.1	Métodos Empíricos	7
2.2.2	Métodos Mecánico-Empíricos	8
2.3	Modelos de Previsión de Comportamiento	13
2.3.1	Fatiga	13
2.3.2	Deformación Permanente	17
2.4	Agresividad del tráfico	21
2.4.1	Tránsito Equivalente	22
2.4.2	Determinación del efecto de las cargas transmitidas por los diferentes ejes sobre un pavimento flexible	23
2.4.3	Espectro De Carga	26
<b>3</b>	<b>ANÁLISIS DEL TRÁFICO Y SU SIMULACIÓN</b>	<b>28</b>
3.1	Consideraciones Iniciales	28
3.2	Tráfico	28
3.2.1	Composición Del Tránsito	30
3.2.2	(TPDA) Tráfico Promedio Diario Anual	32
3.2.3	Clasificación Vehicular de Ecuador	33
3.2.4	Porcentaje de vehículos a estudiar	34
3.3	Características Generales de la Red Vial de Ecuador	40
3.3.1	Clasificación Nacional De La Red Vial	41
3.3.2	Enquadramiento legal	45
3.3.3	Red Estatal	46
3.3.4	Distribución de la Red Vial Nacional	47
3.4	Cargas aplicadas por los vehículos	48
3.4.1	Cálculo de cargas.	48
3.5	Simulación con el software TruckSim	54
3.5.1	Definición Del Vehículo	55
3.5.2	Creación de un vehículo no existente en el catálogo del programa	57
3.5.3	Definición del procedimiento	61
3.5.4	Simulación de la vía sinuosa	64
3.5.5	Cálculo interno del software TruckSim	66
<b>4</b>	<b>AGRESIVIDAD DEL TRÁFICO EN DIVERSOS ESCENARIOS DE TRAZADO GENERAL E IRREGULARIDAD Y RESPECTIVO DAÑO</b>	<b>71</b>
4.1	Definición de Escenarios a Analizar	71
4.2	Simulación de Cargas	72
4.3	Cálculo de la Agresividad	74
4.4	Comparación de los Efectos del trazado General en la Agresividad	76
4.5	Agresividad de una Corriente de Tráfico Real a lo Largo del Período de Dimensionamiento	78

<b>4.6</b>	<b>Daño</b>	<b>81</b>
4.6.1	Definición de las estructuras de pavimento y temperaturas de diseño	81
4.6.2	Número de pesados para un periodo de diseño de 20 años	84
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>90</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>92</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>96</b>
<b>7.1</b>	<b>Anexo 1: coordenadas utilizadas para la simulación de vía curva</b>	<b>96</b>
<b>7.2</b>	<b>Anexo 2: cargas dinámicas extraídas del software TruckSim.</b>	<b>97</b>
<b>7.3</b>	<b>Anexo 3: agresividades individuales de los vehículos.</b>	<b>101</b>
<b>7.4</b>	<b>Anexo 4: agresividades de las corrientes de tráfico</b>	<b>105</b>
<b>7.5</b>	<b>Anexo 5: número de pesados</b>	<b>109</b>
<b>7.6</b>	<b>Anexo 6: datos para el cálculo de los módulos de deformabilidad</b>	<b>111</b>
<b>7.7</b>	<b>Anexo 7: implementación del software KenPave</b>	<b>114</b>

*Esta página fue intencionalmente dejada en blanco*

# **1 Introducción**

## **1.1 Antecedentes (Enquadramiento)**

---

La Red Rodoviaria constituye una de las más importantes infraestructuras de un país asegurando un papel crucial a todos los traslados de personas y bienes. Su nivel de desempeño es, de este modo, determinante para el desenvolvimiento socioeconómico y calidad de vida de las poblaciones.

El conjunto de estradas y caminos del Ecuador es designado como Red Rodoviaria Nacional (RRN). Esta incluye todas las estradas públicas estando, por consiguiente, sujeta a los reglamentos del cuadro institucional en vigor. La RRN comprende la red estatal de estradas (estradas primarias y secundarias), la Red Rodoviaria Provincial (estradas terciarias) y la Red Rodoviaria Cantonal (caminos vecinales).

Las vías de comunicación terrestres son de suma importancia en cuanto al ámbito económico y social por lo que resulta muy necesario realizar un correcto estudio para la construcción de las mismas.

La tipología de pavimentos más utilizadas e implementadas en nuestro país son los pavimentos flexibles con el 50,2% de las vías y en segundo lugar con 16,6% lo ocupan los pavimentos rígidos de hormigón simple, este último ha sido el más utilizado en los últimos años debido a que son más eficiente para los suelos arcillosos en nuestro país.

Los planes de mantenimiento estipulados por la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12) no son aplicados como esta los estipula lo que provoca deterioro precoz de las estructuras de pavimento, a esto se suma la mala costumbre de los transportistas en Ecuador de circular con sus vehículos con excesos de carga lo cual provoca aun un mayor deterioro adelantado en los pavimentos. Esta situación encarece e incrementa la regularidad de mantenimiento que necesitan nuestras estradas y en la mayoría de las ocasiones esto provoca que la estructura vial no pueda ser reparada y deba ser reconstruida en su totalidad incrementando los costos para mantener en buen estado las estructuras de los pavimentos en la red vial nacional.

Los métodos más comunes de cálculo estructural utilizados en nuestra región para el dimensionamiento de pavimentos son los de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y The Portland Cement Association (PCA), siendo los mismos, métodos originarios de otro país, cuyas características de tránsito son ajenas a

los de la realidad de nuestra región, habiendo sido dichos métodos de cálculos simplemente adaptados para ser utilizados en Ecuador ante este género.

## **1.2 Objetivos**

---

El objetivo de esta tesis de Maestría es el de Determinar las afectaciones o daños reales que tienden a transmitir los vehículos que circulan por las vías nacionales con cargas excesivas, de manera que se pueda calcular la diferencia en su periodo de vida útil en relación a un diseño con cargas convencionales. Asimismo como apoyo a esta primera premisa se proponen otros objetivos a alcanzar como son:

1. Comparar las diferencias de cargamento en recta y curva manteniendo el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) constante e inclinación longitudinal constante;
2. Realizar la comparativa de resistencia de los pavimentos para dos escenarios de temperaturas habituales en Ecuador;
3. Comparar el efecto de las pendientes longitudinales de las vías en el cargamento de los vehículos;
4. Calcular variaciones en la vida útil de los pavimentos flexibles con los resultados anteriores.

## **1.3 Metodología Adoptada**

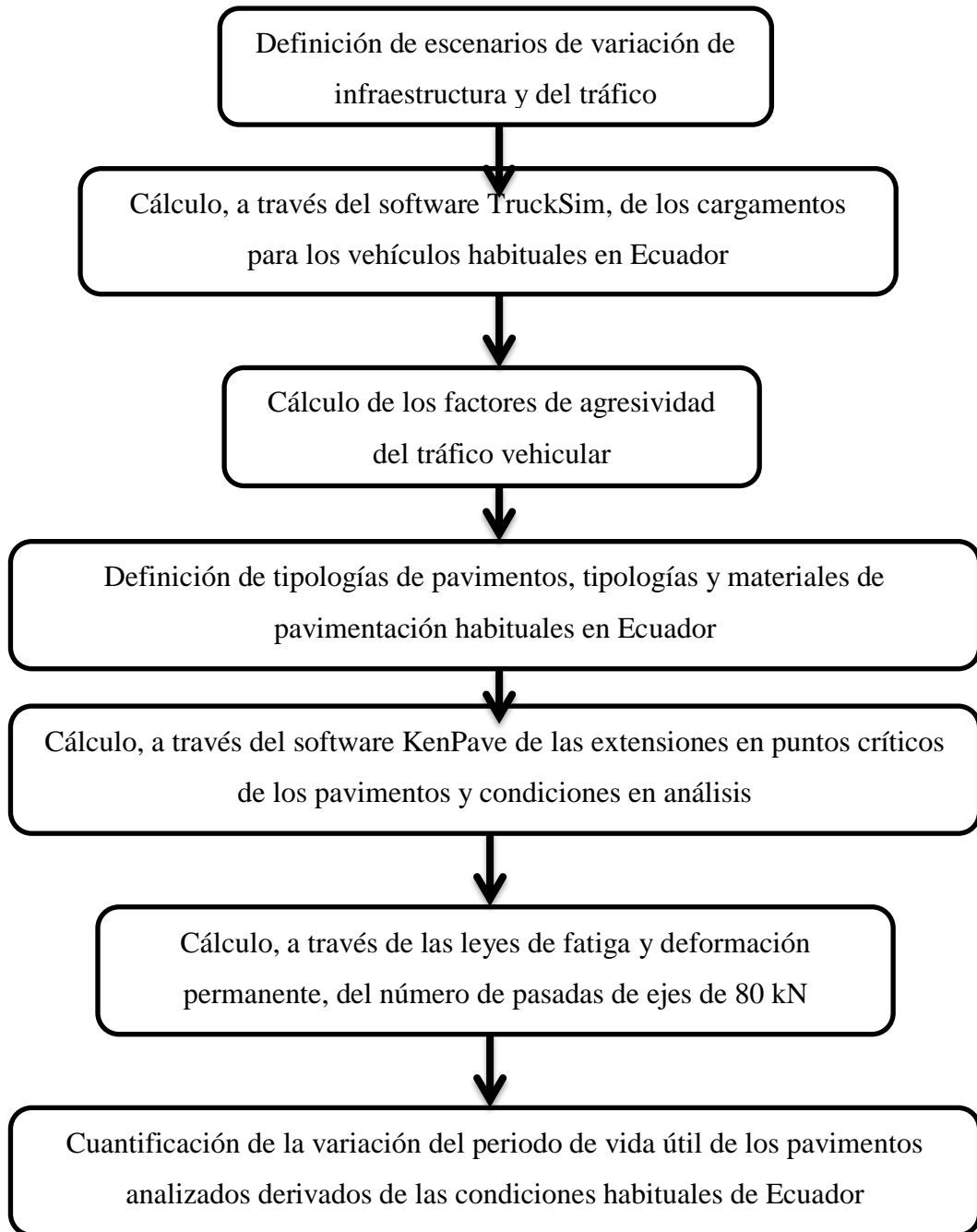
---

Para la correcta estimativa de todos los objetivos propuestos fue necesario en primer lugar estipular varios escenarios típicos de simulación de estradas y de tráfico en Ecuador, de forma que se puedan analizar los cargamentos y sus consecuencias estructurales y así determinar factores de agresividad y variación de la vida útil de los pavimentos lo más real a la realidad. Para comparar las diferencias de cargamento en recta y curva, manteniendo el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) constante e inclinación longitudinal constante, se realizó este trabajo mediante la ayuda del Software TruckSim. El software TruckSim es un programa que permite la simulación dinámica vehicular de test con diferentes modelos de vehículos en distintos entornos, sometiéndolos a distintos tipos de maniobra. TruckSim permite además obtener información en tiempo real de todos los parámetros requeridos como si de sensores se tratase (Riofrío, y otros, 2014). Es así como mediante este programa podemos obtener las descargas dinámicas que los neumáticos transfieren al pavimento. La Metodología utilizada fue la de cuantificar por simulación las cargas para varios escenarios de trazado y vehículos, los cargamentos y modelarlos para entender el fenómeno de descargas hacia el asfalto.

A partir de estos datos se calcularon los factores de agresividad del tráfico teniendo en cuenta la composición de vehículos típica en Ecuador, tanto para cargamentos como trazados típicos de las vías, rugosidades tipos y pendientes longitudinales de las vías. Utilizando estos factores de agresividad se calcularon para dos pavimentos (Espeso y Delgado) y dos escenarios de temperatura (Alta y Baja), los esfuerzos en los puntos críticos de los pavimentos recurriendo al software de análisis estructural (KenPav). El software KenPav es un programa que nos permite determinar las extensiones en el pavimento para un tipo de carga, módulo determinado, cargamento y tipo de pavimento (espesura y características de los materiales de las capas estructurales).

Los valores de los esfuerzos permitieron el cálculo, utilizando leyes de fatiga y de deformación permanente de materiales bituminosos, el número de pasadas admisibles de ejes estándar de 80 kN. Comparando estos valores con los obtenidos a partir de un dimensionamiento "normal" podremos cuantificar la variación de vida útil en el pavimento resultante de la circulación con cargas excesivas que se verifica, habitualmente en Ecuador.

A continuación se presenta el esquema gráfico de la metodología adoptada en la presente tesis de maestría.



## **1.4 Estructuración de la tesis**

---

A continuación se presenta el contenido de cada uno de los capítulos que componen el presente trabajo de tesis:

### **Capítulo 1**

---

Este capítulo contempla la introducción, resumen, antecedentes, objetivos y también explica la metodología aplicada para la resolución de este trabajo investigativo.

### **Capítulo 2**

---

El capítulo número 2 contempla todos los fundamentos teóricos, leyes y metodologías de diseño en los que están basados todos los cálculos realizados en la presente investigación asegurando un correcto desenvolvimiento de la misma.

### **Capítulo 3**

---

En este capítulo se presentan las características de la red vial nacional de Ecuador y los modelos y flujos típicos de vehículos que circulan por las estradas así como los cargamentos típicos con los que circulan estos vehículos.

Se muestran los pasos necesarios para simular estos vehículos en el software TruckSim para la posterior obtención de los valores de descargas por ejes de los vehículos estudiados, así como la simulación de todos los escenarios utilizados en la presente investigación y que permitieron apreciar resultados más fiables.

### **Capítulo 4**

---

El capítulo 4 pone en presentación los escenarios que se van a analizar para la obtención de las agresividades de las distintas corrientes de tránsito estipuladas y de los módulos de deformabilidad del asfalto también para cada uno de sus escenarios, además del cálculo de las extensiones en el pavimento para las dos capas de asfalto y los varios escenarios anteriormente señalados mediante la implementación del software KenPave, con estos valores determinados se presentan en esta sección el número de ejes equivalentes calculado para las corrientes vehiculares para un periodo de vida útil de 20 años y la respectiva comparación de la durabilidad de los pavimentos entre los distintos escenarios.

### **Capítulo 5**

---

Esta sección presenta las conclusiones del proceso investigativo y establece algunas líneas orientadoras para futuros trabajos en esta área.

*Esta página fue intencionalmente dejada en blanco*

## **2 Estado del Arte**

### **2.1 Introducción**

---

La presente sección da a conocer los conceptos teóricos en los cuales se basa el presente trabajo investigativo, este capítulo está formado por el siguiente contenido:

Una breve introducción al tema investigado seguido de los métodos de dimensionamiento en los que se basa el presente trabajo y en los que se basan comúnmente los diseños de asfalto (Métodos empíricos y Métodos Mecánico-Empírico), estos con sus respectivos métodos de previsión de comportamiento como lo son las leyes de fatiga y la leyes de deformación permanente, también se hace énfasis en los conceptos teóricos de tránsito equivalente y los factores de agresividad que afectan a los asfaltos y los respectivos espectros de carga

### **2.2 Métodos de Dimensionamiento**

---

Los métodos de dimensionamiento son los procesos físicos y matemáticos que permiten diseñar capas asfálticas; estos son variados según el instituto o el investigador que los desarrolla, a continuación se mencionan los más utilizados.

#### **2.2.1 Métodos Empíricos**

---

Los procedimientos empíricos son de fácil uso y deben seguirse meticulosamente las indicaciones que metodológicamente se indican. Deben tenerse presentes las notas que aparecen en la descripción de los procedimientos, así como las características de tráfico, clima, materiales, técnicas utilizadas en el país del cual procede el método en cuestión. Un enfoque de diseño empírico es aquel que se basa únicamente en los resultados de los experimentos o experiencias. Las observaciones se utilizan para establecer correlaciones entre los insumos y los resultados de un proceso, Enfoques empíricos se utilizan a menudo como un recurso cuando es demasiado difícil de definir teóricamente las relaciones causa-efecto precisas de un fenómeno (Castillo, 2014).

#### **Método de la AASHTO**

---

El método empírico AASHTO (AASHTO, 1993), basado en el ensayo práctico AASHO desde finales de 1950, es el método de diseño del pavimento más utilizado hoy en día en el país. La ecuación de diseño AASTHO es una relación de regresión entre el número de ciclos de carga, la capacidad estructural del pavimento, y el rendimiento, medido en términos de capacidad de servicio, índice que se basa en las fallas de la superficie que se encuentran comúnmente en pavimentos (Castillo, 2014). En estos

enfoques empíricos, las ecuaciones que estiman la respuesta de la carretera se han desarrollado para guiar a los usuarios en el diseño adecuado que limite los esfuerzos y las deformaciones por debajo de un nivel crítico (Castillo, 2014).

La mayor desventaja de los métodos empíricos es la limitación de su aplicación. Sólo se pueden aplicar a las condiciones similares a aquellos para los que fueron desarrollados (Castillo, 2014).

### **Método del DNER**

---

El método del DNER tiene como base el trabajo “Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume”, de autoría de TURNBULL, FOSTER E AHLVIN del cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos de América (EUA), y algunas conclusiones obtenidas en la pista experimental de la AASHO. Fue elaborado por el Ing. Murillo Lopes de Souza en 1966, y desde entonces ha sido utilizado en todo el territorio nacional (Bezerra, 2004).

### **Método CBR**

---

California bearing ratio (CBR) es una prueba empírica ampliamente utilizada en el diseño de pavimentos flexibles en todo el mundo. Este método fue desarrollado durante 1928-29 por el Departamento de Carreteras de California. El uso de los resultados de las pruebas de CBR para el diseño de caminos, introducido en EE. UU. Durante la Segunda Guerra Mundial y posteriormente adoptado como un método estándar de diseño en otras partes del mundo, recientemente se desaconseja en algunos países avanzados debido a la imperialidad del método (Brown, 1996). California Bearing Ratio (CBR) se utiliza con frecuencia en la evaluación de materiales granulares en capas base, subbase y subrasante de pavimentos de carreteras y aeródromos. La prueba CBR fue desarrollada originalmente por el Departamento de Carreteras del Estado de California y luego fue incorporada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército para el diseño de pavimentos flexibles. Se ha vuelto tan popular a nivel mundial que está incorporado en muchos estándares internacionales ASTM 2000 (Kumar, y otros, 2014).

## **2.2.2 Métodos Mecánico-Empíricos**

---

El método empírico-mecánico se basa en la aplicación de la mecánica estructural, que permite determinar la respuesta de los elementos estructurales que compone el pavimento, tales como esfuerzos, deformaciones y dislocamientos, debido a las cargas aplicadas por las ruedas, utilizando por cierto, los fundamentos y el modelamiento que

permite la teoría elástica (Minaya, y otros, 2014). Los valores de la respuesta son utilizados para predecir el daño basado en ensayos de laboratorio y datos del comportamiento en campo. La dependencia existente de la metodología, respecto al comportamiento, es necesaria debido a que la teoría sola, no provee lo suficiente para un diseño confiable (Minaya, y otros, 2014).

La metodología empírica mecanística AASHTO 2002, por lo tanto, ya no utiliza una ecuación de regresión para el diseño, sino recomienda la aplicación de la teoría elástica, modelando el medio mediante múltiples capas horizontales, homogéneas, con comportamiento elástico en el caso de la sub-rasante y bases granulares y comportamiento viscoelástico en el caso de los materiales asfálticos. La aplicación del análisis deformacional en el diseño de pavimentos flexibles tiene el objetivo de controlar las deformaciones en la estructura de pavimentos, incluyendo el terreno de fundación. La magnitud de las deformaciones que se presenta en la estructura de pavimentos debido a las cargas móviles está asociada a la duración del pavimento (Minaya, y otros, 2014).

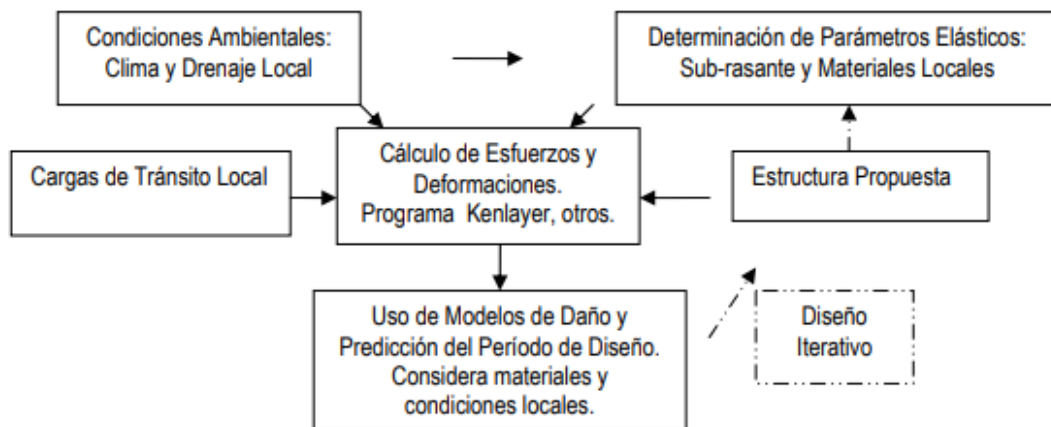
El análisis deformacional constituye en la actualidad una herramienta de análisis que permite considerar (Minaya, y otros, 2014):

1. El tipo de superficie de rodadura y/o carpeta asfáltica través del módulo dinámico. El parámetro del modelo considera las variaciones horarias y estacionarias y la velocidad del tránsito, en función de la categoría de la vía (pendiente, geometría, etc;
2. El tipo de base y sub-base granular, bases y sub-bases estabilizadas asfálticas y/o tratadas con cemento. Permite también determinar de manera directa el espesor del material estabilizado necesario para el diseño;
3. La estratigrafía del terreno de fundación, la capa compactada y los estratos del terreno natural, así como la presencia de basamento rocoso;
4. La distribución de los esfuerzos verticales de compresión en la sub-rasante y el terreno de fundación;
5. La distribución de esfuerzos horizontales y esfuerzos de tracción en las capas superficiales del pavimento. Esto permite evitar que la superficie de rodadura o carpeta asfáltica sea sometida a esfuerzos de tracción que genere el agrietamiento prematuro.

El análisis deformacional se realiza a través de programas de cómputo que permiten la solución del problema elástico como el KenPave del Dr. Huang, 1993 de la Universidad de Kentucky, EEUU que permite el cálculo de tensiones en el pavimento, así como el ELSYM y el software Bisar (Minaya, y otros, 2014). Los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos, resultante de la aplicación de la carga de diseño permiten determinar el período de vida de la estructura mediante el uso de los denominados modelos de daño. Los

modelos de daño son ecuaciones empíricas-experimentales que relacionan el número de pasadas admisibles del pavimento en función de los esfuerzos y deformaciones calculadas. El procedimiento de diseño es iterativo hasta conseguir optimizar el valor de los esfuerzos y deformaciones a fin de evitar los diferentes tipos de falla que se pueden esperar en la estructura del pavimento (Minaya, y otros, 2014).

La **Figura 2.1** permite ilustrar el procedimiento de diseño:



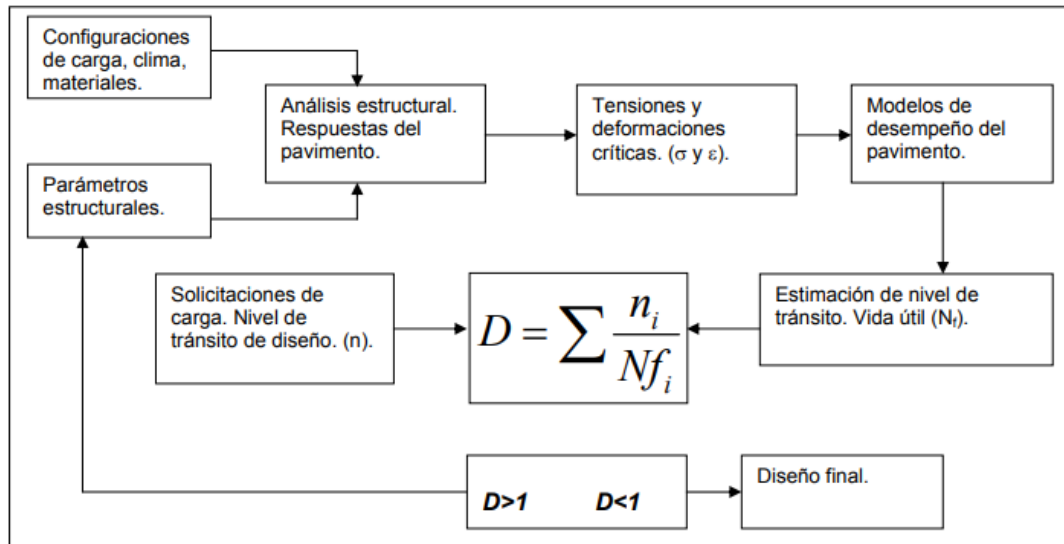
**Figura 2.1: Procedimiento de Diseño**

El método de diseño AASHTO 1993 considera como parámetro de diseño de la carpeta asfáltica el módulo resiliente ( $M_r$ ), resultante del ensayo de tracción indirecta. Para mezclas asfálticas densas en caliente, los valores de  $M_r$  varían de 2757.90 MPa a 3102.64 MPa (28.000 a 32.000  $\text{kg/cm}^2$ ) considerando una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , no indicando, el tipo de asfalto y la frecuencia de ensayo asociado a la velocidad (Minaya, y otros, 2014).

La nueva Guía de Diseño empírico-mecanístico AASHTO 2002 recomienda que el módulo elástico de la carpeta se evalúe con el Módulo Complejo Dinámico  $E^*$ . Sin embargo, se propone la ecuación de Witzack, el cual considera (Minaya, y otros, 2014):

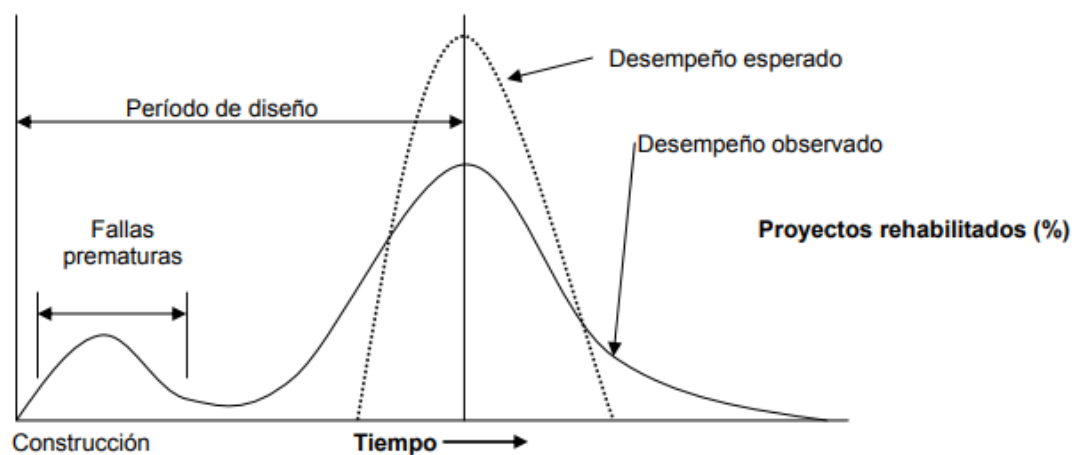
- a. El tipo de asfalto (penetración, viscosidad y/o gradación caso de Superpave, asfaltos modificados y envejecidos);
- b. La granulometría de la mezcla asfáltica (densa, abierta, incompleta, porosa, etc.);
- c. Las variaciones de temperaturas horarias y estacionarias;
- d. La velocidad vehicular asociada a la frecuencia de la carga.

El procedimiento de diseño basado en principios empírico-mecanicistas, incluido en la guía 2002, permite evaluar los efectos de la variación de los materiales en el desempeño de los pavimentos, entregando una relación racional entre las especificaciones de materiales y los procesos constructivos, y el diseño estructural del pavimento. Esta nueva guía incluye, además, métodos que consideran directamente el envejecimiento de los materiales, mes a mes, a lo largo del período de diseño (Leiva, 2011).



**Figura 2.2: Procedimiento de diseño Mecánico – Empírico.**

En la siguiente figura, se observa que la línea continua representa el desempeño observado en los pavimentos actuales. Una de las principales razones para las fallas prematuras en los pavimentos es la imposibilidad de incorporar adecuadamente en los procedimientos de diseño las variaciones en la calidad de los materiales y en los procesos constructivos. Tales variaciones no fueron consideradas como variables experimentales primarias en la prueba de rodado AASHO (Leiva, 2011).



**Figura 2.3: Desempeño de los diseños en los pavimentos existentes**

Además, un procedimiento basado en un enfoque empírico-mecanicista permite, a diferencia de los procedimientos empíricos, incluir futuros avances y conocimientos que puedan ser implementados y desarrollados. Otros beneficios que presentan los procedimientos de diseño empírico-mecanicistas son (Leiva, 2011):

- Permite una adecuada evaluación de las consecuencias en el desempeño del pavimento, producto de nuevas condiciones de carga (por ejemplo, modelación del daño por aplicación de cargas crecientes, por elevadas

presiones de inflado en los neumáticos, por múltiples ejes y por otros factores que pueden ser modelados utilizando un procedimiento mecanicista);

- Se puede hacer un mejor uso de los materiales disponibles (por ejemplo, se puede simular el comportamiento de materiales estabilizados, tanto en pavimentos rígidos como en flexibles, a fin de predecir el desempeño a futuro);
- Facilita el desarrollo de procedimientos mejorados para evaluar los deterioros prematuros, a fin de analizar por qué algunos pavimentos exceden sus expectativas de diseño;
- Los efectos por envejecimiento pueden incluirse en las estimaciones del desempeño (por ejemplo, el endurecimiento del asfalto debido al paso del tiempo, el cual puede influir en el ahuellamiento y en la generación de grietas por fatiga);
- Los efectos estacionales, tales como el debilitamiento del pavimento producido por los deshielos, pueden ser incluidos en la estimación del desempeño;
- Las consecuencias de la erosión de la subbase bajo pavimento rígido pueden ser evaluadas;
- Permite el desarrollo de mejores metodologías para la evaluación de los beneficios a largo plazo que conlleva la dotación de drenajes mejorados a la vía;
- Desde el punto de vista del diseño, aumenta la confiabilidad, permite predecir modos de falla específicos (los cuales pueden ser minimizados), evaluar de mejor manera el impacto de nuevos niveles y condiciones de carga, minimizar fallas prematuras, mejorar los diseños para rehabilitación de pavimentos e introducir adecuadamente variaciones diarias, estacionales y anuales en los materiales, el clima y el tránsito en el proceso de diseño.

El MEPDG se puede utilizar para analizar el rendimiento esperado de superficies nuevas y reconstruidas HMA. Pavimentos, así como superposiciones HMA. Los tipos de pavimento con superficie HMA incluyen los siguientes (American Association of State Highway and Transportation Officials Executive Committee, 2008):

- **Pavimentos flexibles convencionales:** pavimentos flexibles que consisten en superficies HMA relativamente delgadas (menos de 6 pulg de espesor) y capas base agregadas no unidas (piedra triturada o grava, y mezclas de agregados de suelos). Muchos de los pavimentos utilizados en el proceso de calibración global tenían múltiples capas base agregada. Los pavimentos flexibles convencionales también pueden tener una capa de subrasante estabilizada o tratada (American Association of State Highway and Transportation Officials Executive Committee, 2008);
- **Pavimentos flexibles de alta resistencia:** pavimentos flexibles que consisten en un HMA relativamente de gruesa superficie y una mezcla de base estabilizada de HMA o asfalto de densidad densa colocada sobre una base de agregado. Los pavimentos flexibles de resistencia profunda también pueden tener una capa de subrasante estabilizada o tratada. Muchos de los pavimentos flexibles utilizados en el proceso de calibración global tenían capas de base estabilizadas al asfalto y

se definirían pavimentos flexibles de alta profundidad (American Association of State Highway and Transportation Officials Executive Committee, 2008);

- **Pavimentos HMA de profundidad completa:** capas de HMA colocadas en una capa de subrasante estabilizada o colocadas directamente en el terraplén preparado o suelo de fundación. Pavimentos flexibles de profundidad completa también incluido en el proceso de calibración global, pero había menos secciones de prueba que para las convencionales y pavimentos flexibles de alta profundidad (American Association of State Highway and Transportation Officials Executive Committee, 2008);
- **Pavimentos semirrígidos:** HMA colocado sobre materiales estabilizados cementosos. Los materiales cementosos puede incluir cal, ceniza de lima y estabilizadores de cemento Portland. Este tipo de pavimento son también denominados pavimentos compuestos en el MEPDG. Los pavimentos semirrígidos no se incluyeron en el proceso de calibración global, y no se recomiendan para el análisis utilizando el MEPDG hasta que este tipo de pavimento haya sido calibrado (American Association of State Highway and Transportation Officials Executive Committee, 2008).

### 2.3 Modelos de Previsión de Comportamiento

---

Los dos mecanismos de degradación de los asfaltos comúnmente utilizados son los de la fatiga y los de la deformación permanente, por lo que el presente trabajos solo presentan estas.

#### 2.3.1 Fatiga

---

Es el fenómeno por el cual los materiales pierden capacidad de resistir cuando están sometidos a cargas cíclicas con variación en el tiempo; este fenómeno se asocia con la disminución de la resistencia de un material en el tiempo cuando se le aplica esfuerzos dinámicos (Diaz, y otros, 2018).

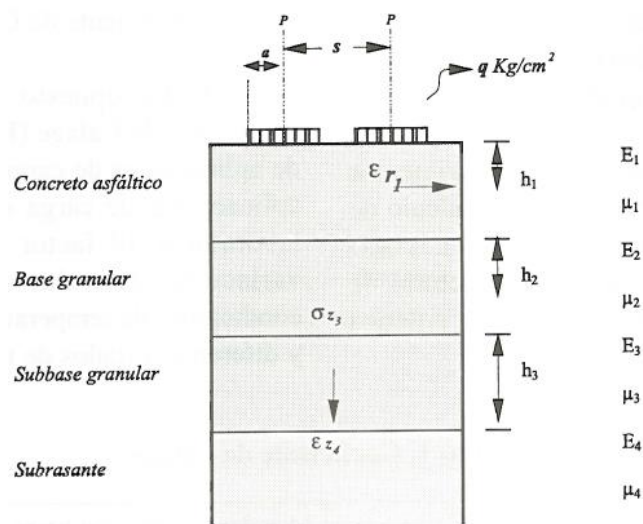
Estos materiales presentan la particularidad que para un nivel de esfuerzos fijo la deformación depende del tiempo, se dice que el comportamiento de estos materiales es viscoelástico, esta propiedad se explica por la dependencia del módulo con la frecuencia de aplicación de la carga.

El modulo es elevado cuando los vehículos circulan a velocidades superiores a 60 km/h; El Modulo es bajo cuando los vehículos circulan a velocidades bajas.

Otra variable que influye en la formación de fatiga es la temperatura, donde con altas temperaturas el modulo disminuye, otros factores que intervienen es la composición de la mezcla asfáltica, su compacidad y la naturaleza del asfalto.

La falla estructural en un pavimento se presenta cuando los materiales que conforman la estructura al ser sometida a repeticiones de carga por acción del tránsito sufren algún tipo de agrietamiento estructural relacionado con la deformación o tensión horizontal por tracción en la base de cada capa. Las fallas inician en la parte inferior de la capa y se va prolongando hasta la superficie, esto debido a que se presenta una tensión máxima en las fibras inferiores de la capa debido a los esfuerzos soportados se va degradando y prolongando hacia arriba, finalizando en unas fallas estructurales en la obra (Díaz, y otros, 2018).

La deformación radial de tracción se presenta en la base de la capa asfáltica de una estructura de pavimento flexible debido a la acción de las cargas, generalmente, impuestas por el tránsito (ver **Figura 2.4**) (Higuera S, 2007).



**Figura 2.4: Modelo estructural.**

La fatiga en materiales se explicó mediante la teoría del medio continuo como un fenómeno en el que los materiales se “fatigaban” o deterioraban cuando se someten a cargas cíclicas y cuyo comportamiento obedece a la relación establecida en las llamadas curvas S-N (Esfuerzo- Numero de ciclos). Pero en realidad la fatiga es un fenómeno que tiene su origen en la no uniformidad de los materiales y que de alguna manera contiene defectos, impurezas o discontinuidades que actúan como concentradores de esfuerzos muy localizados y que sobrepasan la capacidad de resistencia del material en esas zonas.

El análisis de fatiga se basa en la regla de Milner de daño acumulado para estimar la vida a fatiga a partir de una historia de tensiones o deformaciones. La estimación se realiza reduciendo los datos de carga a una secuencia de picos y valles, contando los ciclos y

calculando la vida a fatiga. Para realizar un análisis a fatiga o de durabilidad, se debe proporcionar información específica para el análisis de fatiga (Diaz, y otros, 2018):

- Propiedades a fatiga de los materiales;
- Variación de las cargas a fatiga;
- Opciones de análisis a fatiga.

Los fallos en fatiga se producen en tres fases:

1. **Fase 1 (Iniciación):** Una o más grietas se desarrollan en el material. Las grietas pueden aparecer en cualquier punto del material pero en general ocurren alrededor de alguna fuente de concentración de tensión y en la superficie exterior donde las fluctuaciones de tensión son más elevadas. Las grietas pueden aparecer por muchas razones: imperfecciones en la estructura microscópica del material, ralladuras, entre otras.
2. **Fase 2 (Propagación):** Alguna o todas las grietas crecen por efecto de las cargas. Además, las grietas generalmente son finas y de difícil detección, aun cuando se encuentren próximas a producir la rotura de la estructura de pavimento.
3. **Fase 3 (Rotura):** La estructura de pavimento continúa deteriorándose por el crecimiento de la grieta quedando tan reducida la sección neta de la pieza que es incapaz de resistir la carga desde un punto de vista estático o dinámico produciéndose la rotura por fatiga.

Una ley de fatiga se define como aquella curva que muestra el efecto de la aplicación de ciclos de carga sobre la resistencia de un material; muestra el número de ciclos a la falla para diferentes niveles de esfuerzo o deformación, controladas (Diaz, y otros, 2018).

Las leyes de fatiga son expresiones matemáticas obtenidas en laboratorio y calibradas con estudios de comportamiento a escala real con las que se determina el número N de aplicaciones de carga – tipo que puede soportar el material estudiado antes de llegar a la rotura. Si cada aplicación produce una determinada tensión ( $\sigma$ ) y su correspondiente deformación (e), las leyes de fatiga se pueden expresar como (Diaz, y otros, 2018):

1. Materiales bituminosos, capas granulares y explanadas:  $\varepsilon = K * N^{-a}$
2. Materiales tratados con conglomerantes hidráulicos:  $\frac{\sigma}{\sigma_{m\acute{a}x}} = 1 - (A * \log N)$

La comparación del valor admisible de aplicaciones de la carga – tipo con el tráfico esperado requiere establecer la equivalencia entre el espectro de cargas – el conjunto de todos los valores de las cargas con sus correspondientes frecuencias de aplicación– que constituye dicho tráfico y el número de aplicaciones (N) de la carga tipo ( $P_0$ ) que produciría el mismo efecto destructivo en el firme (Diaz, y otros, 2018).

Las leyes de fatiga se usan para el diseño y la modelación de pavimentos y constituye uno de los parámetros más importantes en el diseño estructural de pavimentos (Diaz, y otros, 2018).

Permiten determinar los esfuerzos y deformaciones admisibles en la estructura, como son la deformación vertical en la subrasante, la tensión en el plano inferior de la carpeta asfáltica y la deflexión de la estructura, lo que para efectos del diseño racional, permite verificar que los esfuerzos y deformaciones en la estructura, sean menores a los admisibles y de esta forma controlar el agrietamiento y el ahuellamiento del pavimento flexible (Diaz, y otros, 2018).

La determinación de la ley de fatiga de una mezcla bituminosa es una cuestión compleja que requiere muchos y costosos ensayos de laboratorio y calibraciones y calados posteriores del modelo in situ. Por ello se suele recurrir a los estudios genéricos realizados por laboratorios nacionales o por organizaciones con grandes recursos (Diaz, y otros, 2018).

Los dos métodos más conocidos son los desarrollados por la SHELL y por el Instituto del Asfalto (AI).

- **Método SHELL**

---

$$N = ((0,856 * Vb + 1,08) * (10^6 * E)^{-0.36})^5 * \varepsilon_t^{-5}$$

Dónde:

Vb: es el % de betún en volumen y E es el módulo de la mezcla en Mega pascales.

N: representa el número de ciclos de carga hasta la fatiga del material al nivel de deformación  $\varepsilon_t$ , que es la deformación unitaria de tracción (Diaz, y otros, 2018).

- **Método del Instituto de Asfalto (AI)**

---

$$N = (0,0796 * C * (0,145E^{-0,854}) * \varepsilon^{-3,291}$$

Donde C es un factor de corrección expresado por:

$$C = 10^M$$

$$C = 4,84 * \left( \frac{V_b}{V_a + V_b} - 0,6875 \right)$$

Donde  $V_a$  y  $V_b$  son respectivamente el volumen de aire (huecos) y el volumen de betún. Para  $V_a = y$   $V_b = M = y$   $C = 1$  con lo que la expresión del AI se reduce a:

$$N = (0,0796 * (\varepsilon^{-3,291}) * (0,145E)^{-0,854}$$

### Otros métodos

En la **Tabla 2.1** se presentan varias ecuaciones de diversos autores para calcular la fatiga en los pavimentos (Diaz, y otros, 2018).

**Tabla 2.1: Ecuaciones de fatiga**

US Army Corps of Engineers	$N = 497.156 * \varepsilon^{-5} * E^{-2,66}$ (Khana et al., 2013)	Ley de fatiga desarrollada por US Army Corps of Engineers.
Belgian Road Research Center	$N = 4,92 * 10^{-14} * \varepsilon^{-4,76} E$ (Verstraenten et al., 1982)	Desarrollada en el centro de Investigación de caminos Bélgica en el año 1982
UC-Berkeley	$N = 0,0636 * \varepsilon^{-3,291} * E^{-0,854}$ (Craus et al., 1984)	Ley de fatiga determinada en la universidad UC-Berkeley de California en 1984
Transport and Road Research Laboratory	$N = 1,66 * 10^{-10} * \varepsilon^{-4,32}$ (Powell et al, 1984)	Desarrollada en el centro de investigación de transporte y carreteras en 1984 (USA).
Illinois-Department of Transportation	$N = 5 * 10^{-6} * \varepsilon^{-3}$ (Thompson, 1987)	Ley de fatiga determinada en el estafo de Illinois en 1987 (USA).
U.S. Armu model	$N = 478,63 * \varepsilon^{-5} * E^{-2,66}$ (Defence, 1988)	Desarrollada por un modelo del ejercito de los EE.UU en 1998.
Minnesota 1998	$N = 2,83 * 10^{-6} * \varepsilon^{-3,21}$ (Timm et al., 1998)	Ley de fatiga determinada en el estado de Minnesota 1998 (USA).
Indian model	$N = 0,1001 * \varepsilon^{-3,565} * E^{-1,4747}$ (Das y Pandey,1999)	Frecuencia del ensayo 10Hz, Temperaturas entre (20-30)°C, Instituto tecnológico India, Carga de prueba entre (80-800) N ( India)

### 2.3.2 Deformación Permanente

El asfalto es un material que puede ser considerado elástico - lineal a temperaturas bajas y frecuencias de carga altas, pero muestra propiedades viscosas y plásticas a temperaturas mayores. Debido a este comportamiento, las cargas repetidas del tránsito generan deformaciones permanentes en las capas asfálticas, especialmente durante el periodo de verano (Garnica, y otros, 2002).

El comportamiento de las mezclas asfálticas con respecto a las deformaciones permanentes depende fuertemente del tipo de ligante utilizado, así como de la composición de la mezcla, forma y tamaño de las partículas, calidad de los agregados y aditivos, cuando éstos son empleados.

La temperatura del asfalto es un factor que afecta fuertemente a la deformación permanente. No sólo las temperaturas máximas, sino también los gradientes de temperatura pueden tener una influencia sobre la deformación permanente. La temperatura máxima, así como el gradiente de temperatura pueden ser cambiados por la conductividad térmica de la mezcla, así como la brillantez o reflectividad, por medio de la selección del agregado.

El ancho de carriles y la velocidad del tránsito también pueden afectar la deformación permanente. La distribución lateral de la zona de rodadas está influenciada por la velocidad del tránsito, ancho de carril y profundidad de las roderas. Las velocidades bajas del tránsito, las cuales corresponden a frecuencias de carga más bajas, también contribuyen directamente al desarrollo de deformaciones permanentes en las capas bituminosas (Garnica, y otros, 2002).

Después de la fase de consolidación al comienzo de la vida de servicio del pavimento, el índice de deformaciones permanentes normalmente decrece con un incremento en las repeticiones de carga, hasta que se vuelve razonablemente constante. Finalmente, el índice de deformación permanente puede comenzar a incrementarse con un aumento en las repeticiones de cargas. Esta última fase ocurre sobre el camino sólo en situaciones extremas, e indican deterioro total.

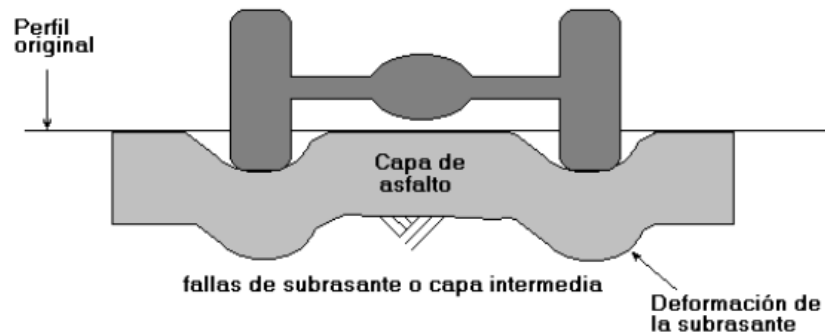
La deformación permanente se caracteriza por una sección de superficie cruzada que ya no se encuentra en su posición de diseño. Se le llama permanente porque representa una acumulación de pequeñas cantidades de deformación irrecuperable que ocurre cada vez que se le aplica la carga. Existen dos principales tipos de roderas: roderas por fallas en la subrasante y roderas por fallas en la capa de asfalto.

### **Roderas por fallas en la subrasante**

---

Este tipo de roderas son causadas por un excesivo esfuerzo repetido en las capas interiores (base o subbase) bajo la capa de asfalto (*Figura 2.5*). Si bien los materiales duros pueden reducir parcialmente este tipo de roderas, es considerado un problema estructural más que de los materiales en sí. Esencialmente, no hay suficiente fuerza en el pavimento o dureza para reducir la fuerza aplicada en un nivel tolerable. Puede más bien

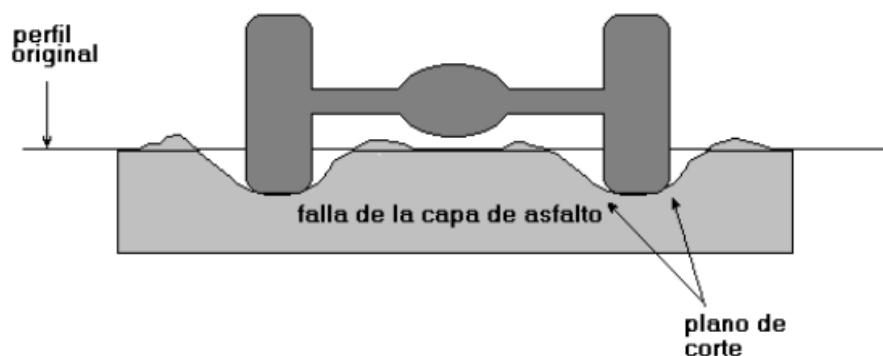
ser causado por el inesperado debilitamiento de una de las capas generadas por la intrusión de humedad. La deformación ocurre en las capas inferiores más que en las capas de asfalto (Garnica, y otros, 2002).



**Figura 2.5: Roderas por fallas en la subrasante**

### **Roderas por fallas en la capa de asfalto**

El tipo de roderas que más preocupa a los diseñadores de mezclas asfálticas es la deformación de las capas de asfalto. Esta deformación es el resultado de una mezcla de asfalto sin la suficiente capacidad de fuerza para resistir cargas pesadas (Figura 0-2). Una mezcla débil va acumulando pequeñas, pero permanentes deformaciones con cada camión que pasa, y eventualmente forma una ruta caracterizada con una inclinación y deslizamiento lateral de la mezcla. Las roderas pueden ocurrir en el curso de la superficie de asfalto, o las roderas que se ven en la superficie pueden ser causadas por el debilitamiento de alguna de las capas bajas de asfalto (Garnica, y otros, 2002).



**Figura 2.6: Roderas por fallas en la mezcla**

Las roderas, ya sean consolidadas (primaria) o por inestabilidad (secundaria) se caracterizan por una depresión longitudinal superficial dentro de la trayectoria de la rueda y puede tener un desplazamiento transversal asociado, lo que reduce la calidad de servicio y seguridad de un pavimento flexible. El concreto bituminoso es dependiente del tiempo, temperatura y estrés del material, que, cuando se somete a cargas repetidas, presenta elasticidad / plasticidad/ visco-elasticidad / respuesta plástica. Las propiedades elásticas se

modelan por modulo elástico y radio de Poisson ya que no contribuyen a la deformación permanente. Las propiedades plásticas contribuyen a la deformación permanente, que es acumulativa bajo carga repetida (Khan, y otros, 2013).

Mientras que las prácticas de diseño estructural de pavimentos se han centrado principalmente en la protección de la subrasante por tensión vertical excesiva, el ahuellamiento y la resistencia de las capas bituminosas se ha dejado a los diseñadores de mezclas. La resistencia al corte en las mezclas bituminosas se evalúa comúnmente con muchos métodos, como por ejemplo el método Marshall Stability, el método cíclico triaxial (EN 12697 parte 25). Hay un esfuerzo consciente para cambiar hacia el uso de métodos de prueba relacionados con el rendimiento fundamental.

Dos procedimientos se han utilizado para limitar las roderas; uno para limitar la tensión de compresión vertical en la parte superior de la subrasante y el otro para limitar la deformación permanente total acumulada en la superficie del pavimento en función de las propiedades de cada capa individual. En el proceso, el número de repeticiones de carga  $N$  para limitar el ahuellamiento está relacionado con la tensión de compresión vertical  $\varepsilon_z$  en la parte superior de la subrasante (Khan, y otros, 2013).

$$N = f_1 * \left(\frac{1}{\varepsilon_z}\right)^{f_2}$$

Varios organismos han definido diferentes valores constantes de material para  $f_1$  y  $f_2$ . De la investigación anterior en la India, el modelo de rodadura se define a partir de una gran cantidad de datos para la falla por roderas en pavimentos, definiendo la profundidad de roderas permitida como 20 mm, la ecuación de rodera es definida y presentada como:

$$N = 4,1656 * 10^{-8} * \left(\frac{1}{\varepsilon_z}\right)^{4,5337}$$

Dónde:

$N$ = Número de repeticiones de la carga en la falla por rodadura

$\varepsilon_z$ = Tensión de compresión en la parte superior de la subrasante

### **Método Shell**

---

La deformación permanente por el método de la Shell es el método empleado en la presente tesis de maestría, este presenta la siguiente ecuación para su cálculo.

$$N = K_S * N_{80}^{-0,25}$$

Dónde:

$\epsilon_z$  = Extensión de compresión vertical en la parte superior del suelo de fundación, provocado por las pasadas de los ejes estándares de 80 kN

$K_s$  = Parámetro dependiente de la probabilidad de supervivencia del pavimento:

$$50 \% \text{ probabilidad} - K_s = 2,8 * 10^{-2}$$

$$85 \% \text{ probabilidad} - K_s = 2,1 * 10^{-2}$$

$$95 \% \text{ probabilidad} - K_s = 1,8 * 10^{-2}$$

- **Otros métodos**

En la **Tabla 2.2** se presentan otras expresiones utilizadas por diversas instituciones para calcular el Número de pasadas del eje estándar de 80 kN antes de que se produzca la deformación permanente sobre la calzada.

**Tabla 2.2: Leyes de comportamiento de la Deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante.**

AUTOR	LEY DE COMPORTAMIENTO
Formula de la Universidad de Nottingham	$N = 1,13 \times 10^{-6} * \epsilon_z^{-3,571}$
Instituto del Asfalto	$N = 1,365 \times 10^{-9} * \epsilon_z^{-4,477}$
Shell Petroleum	$N = 6,15 \times 10^{-7} * \epsilon_z^{-4}$
Mn/ROAD	$N = 7,0 \times 10^{15} * \epsilon_z^{-3,909}$

N: representa el número de ciclos de carga hasta la deformación del material al nivel de deformación  $\epsilon_z$ , que es la deformación unitaria de compresión: Número de ejes equivalentes acumulados en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

## 2.4 Agresividad del tráfico

En la etapa de estudio, el diseño de pavimentos flexibles exige un adecuado conocimiento de la relación entre las cargas por eje y los agentes que determinan la vida útil de estas estructuras. Un factor importante para determinar esa relación es el denominado factor de equivalencia de daño/carga (FEQ - factor equivalente de carga), que se utiliza para cuantificar los efectos del daño de diferentes configuraciones de ejes y cargas en términos de un número equivalente de ejes estándares (LCPC, y otros, 1997). El análisis de un modelo de daño FEQ (está en función de varios parámetros de respuesta del pavimento como la deformación, las deflexiones y los esfuerzos.

El Método utilizado por la Dirección de Autopistas de Francia [1994] considera la “agresividad de un eje”, que se basa en el daño por fatiga causado en el pavimento, La Agresividad (A), corresponde a los daños causados por un paso de un eje con una carga P comparado con los daños debidos a un paso de un eje de referencia con una carga PO. La agresividad (A) se determina utilizando la siguiente relación (LCPC, y otros, 1997):

$$A = \left(\frac{P}{PO}\right)^4$$

**Dónde:**

- A : Agresividad
- P : Carga en cada eje de un grupo de ejes
- PO : Eje de referencia (eje simple dual cargado con 130kN (13,3Ton))
- 4 : Constante de ley de cuarta potencia

Para el caso de Portugal y aun en Ecuador se siguen utilizando para los valores de PO ejes simples dual cargados de 80 kN (8,2 Ton).

**2.4.1 Tránsito Equivalente**

Para el cálculo del dimensionamiento de la calzada el tránsito se caracteriza por el número equivalente de ejes de referencia correspondiente al tránsito de vehículos pesados acumulados en la duración inicial del cálculo retenido (vida útil) (Reyes, 2011).

El eje de referencia es un eje simple con ruedas gemelas cuya carga es de 120 kN, pero para nuestro calculo usado en el presente estudio será de 80 kN. El número de ejes equivalente es función de los valores de los conteos del tránsito en el año de puesta en servicio de este, de la tasa de crecimiento durante la duración de vida, de la composición del tránsito y de la naturaleza de la estructura de la calzada.

El Transito promedio diario anual para los vehículos pesados es tomado en la vía más solicitada por lo que es necesario para los debidos cálculos utilizar los siguientes factores:

**Factor de distribución por sentido (fds)**

El factor de distribución por sentido (fds) permite cuantificar la fracción del total del tránsito que circulará en el sentido de diseño, y sus valores son los que se indican en la siguiente Tabla (Corredor, 2010).

**Tabla 2.3: Valores del Factor de distribución por sentido**

Modo de medición del PDT	Valor del fds
En ambos sentidos	0,5
Por sentido de circulación	1,00

### **Factor de utilización de canal (fuc)**

---

Este valor permite asignar al canal de diseño, la fracción del total de vehículos que circulará por este canal: En Venezuela tradicionalmente sus valores han sido los siguientes para el tránsito ya asignado al sentido de circulación (Corredor, 2010):

- (a) para un canal por sentido, el  $fuc=1,0$
- (b) para dos canales por sentido, el  $fuc=0,90$ ; y
- (c) para tres o más canales por sentido, el  $fuc = 0,80$

### **2.4.2 Determinación del efecto de las cargas transmitidas por los diferentes ejes sobre un pavimento flexible**

---

Uno de los factores de diseño que presenta mayor variabilidad es el correspondiente al efecto de las cargas que transmiten los vehículos. Cualquier observador, por más inexperto que sea en el área de pavimentos, no puede dejar de notar que por una sección dada de pavimento circulan diariamente un sinnúmero de tipos de vehículos, y un mayor número de tipos de carga: observará para un mismo tipo de camión que algunos circularán vacíos, otros cargados con cemento, otros con cerveza, otros con materiales de construcción, etc.; además la condición de variabilidad descrita se repetirá para cada tipo de camión sobre la vía (Corredor, 2010).

Es necesario, en consecuencia, transformar toda esa gama de realidades de formas e intensidades de carga, en un valor que los represente y que sea simplemente obtenible y manejable.

En Venezuela, como en la gran mayoría de los países occidentales y de Sur América este "eje patrón" contempla una carga por eje simple de cuatro ruedas de 8.200 kg (80 kN ó 18.040 libras).

Adicionalmente fue necesario asignar a este eje patrón un valor del efecto que causaba al pasar sobre un pavimento, este efecto se conoce como "factor daño", y para una carga patrón de 80 kN, sobre un eje simple de cuatro ruedas (o ruedas morochas), se le asignó un valor unitario, es decir cada vez que un eje simple de 80 kN pasa sobre una sección de un pavimento flexible, causa sobre ese pavimento un daño igual a uno (Corredor, 2010).

Como consecuencia de esta simplificación surge la definición de los "Factores de equivalencia de cargas", que "son valores numéricos que definen el daño que causa el paso de un vehículo, o eje determinado, sobre una sección de pavimento en una manera relativa

al daño que el vehículo, o eje patrón, causa al pasar sobre la misma sección de pavimento", o dicho de otra manera, los "Factores de Equivalencia" transforman las repeticiones de un eje cualquiera, a un número de repeticiones del eje patrón que causan el mismo efecto daño sobre el pavimento que el daño causado por ese eje cualquiera (Corredor, 2010).

Los "Factores de Equivalencia" para los ejes simples y tándem (dobles y triples) son los derivados empíricamente en el Ensayo Vial American Association of State Highway Officials (AASHO) en función no solo de la magnitud de la carga y la configuración del eje que la transmite al pavimento, sino también del tipo de pavimento (flexible o rígido), del espesor del pavimento y de la condición final de calidad de rodaje del pavimento para el momento final del periodo de diseño y obedecen, en una forma muy simplificada.

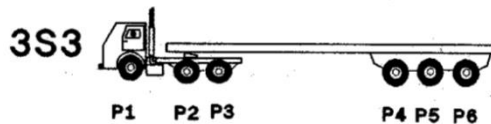
Si se establece como carga normalizada los valores de 6,6 ton en eje simple de dos ruedas, de 8.2 ton en ejes simple de cuatro ruedas y ejes tándem dobles, y de 23 Ton en eje tándem triple, los "factores de equivalencia" toman las expresiones aproximadas siguientes (Corredor, 2010):

$$\begin{aligned} (Fei_{\text{ simple de dos ruedas}}) &= (\text{Carga por eje (i)} / 8,2)^4 \\ (Fei_{\text{ simple de cuatro ruedas}}) &= (\text{Carga por eje (i)} / 8,2)^4 \\ (Fei_{\text{ doble}}) &= (0,57 * \text{Carga por eje doble (i)} / 8,2)^4 \\ (Fei_{\text{ triple}}) &= (\text{Carga por eje (t)} / 23)^{4,22} \end{aligned}$$

Ejemplos de estimación de los ejes equivalentes (Corredor, 2010):

### Ejemplo 1

Camión semitrailer 3S3 con 48 toneladas de carga total

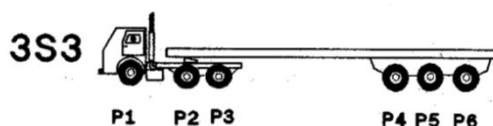


**Tabla 2.4: Ejemplo de transformación de camión a Factor de Carga Equivalente**

Eje individual	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	Eje 6
Carga (Ton)	5,76	7,68	9,12	8,16	10,56	6,72
Eje de carga	Simple dos ruedas	Tandem doble (Eje 2 + eje 3)		Tandem triple (eje 4 + eje 5 + eje 6)		
Toneladas en eje de carga	5,76	16,80		25,44		
Factor de equivalencia	<b>0,58</b>	<b>1,86</b>		<b>1,53</b>		
Ejes equivalentes causados por el paso de este vehículo (Factor daño)	<b>(0,58 + 1,86 + 1,53)</b>					
	<b>3,97</b>					
	<i>Es decir que el paso de este camión causa el mismo daño sobre el pavimento que el causaría un "camión virtual de 3,97 ejes simples de cuatro ruedas, cada eje cargado con 8,2 toneladas</i>					

## Ejemplo 2

El mismo Camión semitrailer 3S3 pero con 96 toneladas de carga total



**Tabla 2.5: Ejemplo de transformación de camión a Factor de Carga Equivalente**

Eje individual	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	Eje 6
Carga (Ton)	11,52	15,36	18,24	16,32	21,12	13,44
Eje de carga	Simple dos ruedas	Tandem doble (Eje 2 + eje 3)		Tandem triple (eje 4 + eje 5 + eje 6)		
Toneladas en eje de carga	11,52	33,60		50,88		
Factor de equivalencia	<b>9,28</b>	<b>29,76</b>		<b>28,52</b>		
Ejes equivalentes causados por el paso de este vehículo (Factor daño)	<b>(9,28 + 29,76 + 28,52)</b> <b>67,56</b>					
	<i>Es decir que el paso de este camión causa el mismo daño sobre el pavimento que el causaría un "camión virtual de 62,99 ejes simples de cuatro ruedas, cada eje cargado con 8,2 toneladas. La carga, en este ejemplo se dobló, pero el efecto daño fue prácticamente 16 veces mayor.</i>					

El "Factor camión" de esta flota de dos camiones sería igual a:

$$\text{CAM} = (3,97 + 67,56)/2 = 35,76 \text{ ejes equivalentes}$$

Por otra parte, uno de los valores más importantes es el que corresponde al término "CAM", el cual se define como "**Factor camión**", y es igual al número de cargas equivalentes promedio por camión, y se obtiene dividiendo el valor obtenido al sumar el total de cargas equivalentes de cada camión, de un número dado de camiones que circulan por una sección de carretera, entre el número total de camiones considerados en la sumatoria de los ejes equivalentes (Corredor, 2010).

El Factor Camión es una constante característica de la distribución de frecuencia de eje por rango de carga e independiente del número de vehículos; es decir no depende del número de camiones a partir de los cuales se determine, pero sí de la conformación, o distribución de los diversos camiones dentro del total del tráfico pesado diario de la vía en estudio (Corredor, 2010).

El Factor Camión permanece constante si la distribución de los tipos y cargas de los camiones permanece invariable. Por lo contrario, si se modifica en algo el porcentaje de vehículos cargados, o el tipo de carga, o los tipos de camiones dentro del total de vehículos diarios, el FC se variará con respecto al anterior (Corredor, 2010).

Los factores de equivalencia de carga utilizados en Ecuador son los facilitados por las normas AASHTO.

### **2.4.3 Espectro De Carga**

Las cargas aplicadas a los pavimentos están representadas por los vehículos que transitan por las vías, dichas cargas son muy variadas en magnitud y duración porque los vehículos presentan varias categorías. Los vehículos tienen un peso total que es distribuido en la vía a través de los ejes. Los pesos máximos permitidos para los vehículos de carga y los ejes, los estipulan las normas que para esto existen (Molina, y otros, 2015).

La preservación de las capas de rodadura y de las obras de arte en las vías pavimentadas se basa fundamentalmente en que los vehículos de carga no excedan los límites de peso por eje y el peso bruto total para los que dichos pavimentos fueron diseñados. Debido a las diversas características de cada tipo de vehículo que circula en la estructura de pavimento durante su vida útil, se presenta un amplio espectro de ejes de carga, con diferentes espacios entre llantas y distintas presiones de inflado, lo cual genera diferentes esfuerzos y deformaciones sobre un punto determinado de la estructura. Se debe tener en cuenta en general, que a mayor tamaño de los vehículos y más peso de las cargas axiales, los costos de operación en tonelada-kilómetro resultan más económicos; pero esto conlleva a mayores costos de construcción y mantenimiento de carreteras y puentes. Lo anterior, genera un problema de complejidad tal, que se hace necesario generar simplificaciones prácticas al mismo. Es por esta razón, que conociendo las falencias de información sobre la tipología de los vehículos de carga que circulan por el cantón y la carga axial real que éstos transportan, es necesario conocer los espectros de cargas correctos para el diseño de las vías de acceso del cantón. Los espectros de carga se calculan usualmente para cada tipo de eje: simple, simple de dos ruedas, tándem doble y tándem triple. Se definen como la relación entre el número de ejes con cierto rango de carga y el número total de ese tipo de eje, expresado en porcentaje (Molina, y otros, 2015).

Entre los principales aspectos que se pueden mencionar en relación a los espectros de carga conviene destacar los siguientes (Molina, y otros, 2015):

1. Cada punto del espectro de carga representa el porcentaje de ejes de un cierto tipo que circula con cierto nivel de carga;
2. El espectro de carga caracteriza al tránsito pesado en el tramo carretero en donde se hace la medición. El seguimiento en el tiempo permite valorar la evolución de

la distribución de las cargas, aspecto que está relacionado con la intensidad de las actividades económicas en el sector transporte;

3. Los valores máximos permiten identificar los niveles de carga más usuales; niveles que se pueden asociar si los vehículos circulan vacíos o con carga completa;
4. Permite identificar los tramos carreteros en donde los niveles de carga exceden el reglamento y en qué porcentaje;
5. Se pueden asociar comportamientos del tránsito de vehículos de carga similares y establecer regionales;
6. Permiten diseñar y revisar la capacidad estructural de un pavimento con datos realmente representativos de una red de carretera.

Son indicadores de la severidad que se puede esperar de los distintos deterioros en una carretera a lo largo del tiempo. Esto puede ser de particular interés para los responsables de la conservación y mantenimiento de una red carretera en términos de desempeño (Molina, y otros, 2015).

### **3 Análisis Del Tráfico Y Su Simulación**

#### **3.1 Consideraciones Iniciales**

---

Una Red Rodoviaria está formada por carreteras, vías de transporte de dominio y uso público, proyectadas y construidas fundamentalmente para la circulación de automóviles. Las carreteras se distinguen de un simple camino porque están especialmente concebidas para la circulación de vehículos de transporte. Se cree que los primeros caminos fueron creados a partir del paso de los animales, aunque esto está puesto en duda ya que los animales no suelen recorrer los mismos caminos. Sin embargo, con el pasar del tiempo estos caminos fueron evolucionando y adaptándose al cambio de transporte, de animales a vehículos motorizados, cada vez más con mayores solicitaciones.

Cabe recalcar que la Red Rodoviaria Nacional con la necesidad de brindar acceso y conectividad a las diferentes comunidades y poblados, ha llevado al país a desarrollar una amplia red de carreteras que cumplen esta función. Con la inversión y el desarrollo económico de hace algunos años permitió la construcción de una gran cantidad de kilómetros, sin embargo por diversas razones el mantenimiento en el tiempo de los mismas quedó fuera de estos planes.

Las carreteras o estradas se clasifican de diferentes maneras en función de los carriles que componen las distintas calzadas, de si tienen cruces al mismo nivel o no, o del tipo de tránsito que soportan. Esto último es muy importante porque las carreteras están diseñadas para soportar un tipo de transporte, para unas solicitaciones determinadas, unas cargas calculadas, sin embargo es evento típico exceder la carga permitida, eventos que suponen una exposición de las carreteras a esfuerzos superiores a los proyectados.

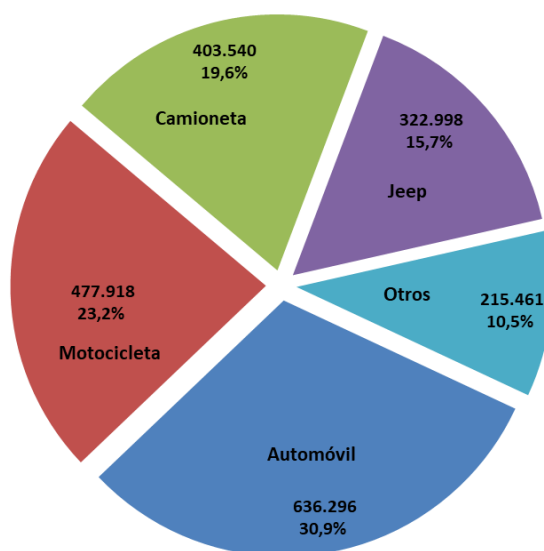
En este capítulo se pone en presentación los tipos de vehículos que normalmente transitan sobre los pavimentos rodoviarios, así como las características y la clasificación de la red vial de Ecuador; también se presentan las cargas medidas con las que normalmente circulan los vehículos con exceso de carga y su simulación en el software TruckSim.

#### **3.2 Tráfico**

---

En el 2016 se registraron 2'056,213 de vehículos matriculados en Ecuador. Se evidencia una mayor concentración en las provincias de Guayas y Pichincha con el 59,1% (INEC, 2016).

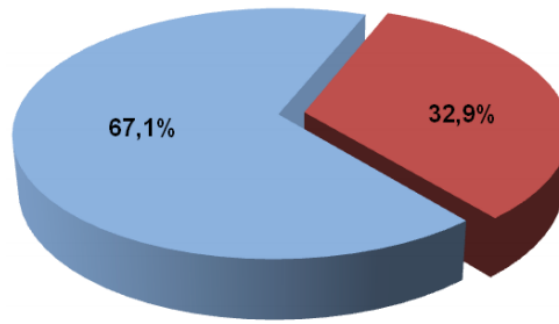
Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) dentro del parque automotor nacional el mayor porcentaje de vehículos que circulan por las Carreteras del país lo ocupan los automóviles con 636.296 vehículos que corresponden al 30,9%, el segundo tipo de vehículos con mayor porcentaje lo ocupan las motocicletas con 477.918 vehículos que corresponden a un 23,2%, las camionetas (Pick Up) son el tercer tipo de vehículos más utilizados por los ecuatorianos con 403.540 vehículos que corresponden al 19,6%, en cuarto lugar están los jeeps con 322.998 vehículos que corresponden al 15,7% y en último lugar están los vehículos pesados con una cantidad de 215.461 vehículos que son el 10,5% en el parque automotor (**Figura 3.1**) (INEC, 2016).



**Figura 3.1: Vehículos matriculados, según clase - Año 2016**

En la categoría “Otros”, se encuentra agrupado: Autobús, Camión, Furgoneta de carga, Furgoneta de pasajeros, Tanquero, Tráiler, Volqueta y Otros no clasificados.

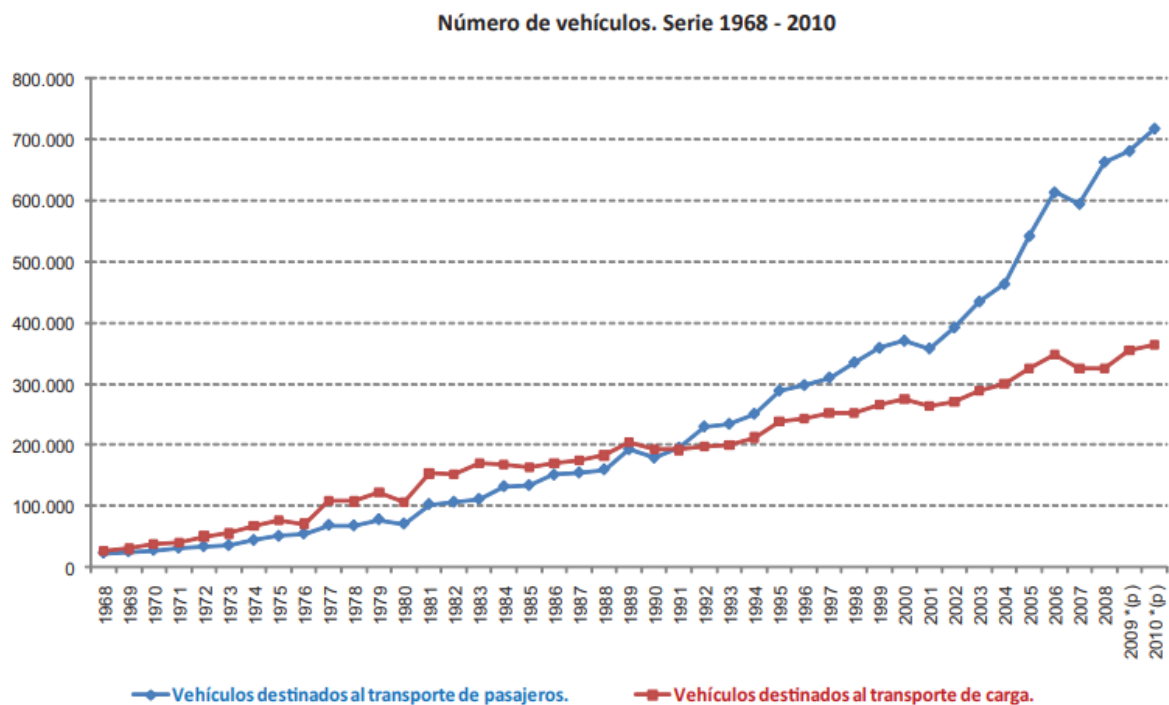
Respecto a la composición del transporte terrestre, el 67,1% de vehículos motorizados matriculados se destinan al transporte de pasajeros en el año 2008 (**Figura 3.2**) (INEC, 2011).



- Vehículos para el transporte de pasajeros
- Vehículos para el transporte de carga

**Figura 3.2: Composición del transporte terrestre en el Ecuador. Año 2008**

El número de vehículos destinados al transporte de pasajeros y de carga tuvo un crecimiento sostenido en los últimos cuarenta y tres años. Sobre todo la cantidad de vehículos motorizados destinados al transporte de pasajeros desde el año de 1991 supera a la cantidad de vehículos para carga (*Figura 3.3*).



**Figura 3.3: Evolución del transporte de pasajeros y de carga en el Ecuador**

### 3.2.1 Composición Del Tránsito

Para el diseño de carreteras es muy importante tener en cuenta cual es la composición de los vehículos que la ocupan, los cuales son diferentes según tamaño y peso.

El tipo y porcentaje de vehículos es relativamente semejante en las ciudades más grandes de nuestro país en las carreteras interurbanas principales, este tipo de vehículos principales que circulan en nuestro país quedan claramente reflejados en la *Figura 3.4*:

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
V2DB				VOLQUETA DE DOS EJES 8 m <sup>3</sup> 18
V3A				VOLQUETA DE TRES EJES 10-14 m <sup>3</sup> 27
VZS				VOLQUETA ZS DE 3 EJES 16 m <sup>3</sup> 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

Figura 3.4: vehículos principales que circulan en el Ecuador con respectiva Simbología técnica según NEVI-12

Ya que la presente investigación se centra en las arterias principales que confluyen hacia la Ciudad de Portoviejo (E30 Manta-Portoviejo, E30 Rodeo-Portoviejo, E39A Rocafuerte-Portoviejo Y E462B Santa Ana-Portoviejo), el tipo de vehículos fue escogido según el porcentaje de vehículos más influyente que circulan por dichas vías, el cual fue obtenido del TPDA realizado en 2014 por estudiantes investigadores de la Universidad Técnica de Manabí (Molina, y otros, 2015), y los vehículos que mayor peso descargan hacia el pavimento. Estos tipos de vehículos quedan resumidos en la **Figura 3.5**.









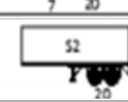
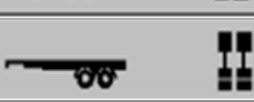

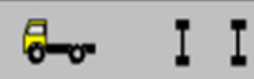
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO [Ton.]	
2DB			Bus de dos ejes	18
V2DB			VOLQUETA DE DOS Ejes 8 m <sup>3</sup>	18
V3A			VOLQUETA DE TRES Ejes 10-14 m <sup>3</sup>	27
T3			TRACTO CAMIÓN DE 3 Ejes	27
S2			SEMIREMOLQUE DE 2 Ejes	20
2D			Pick up de dos ejes pequeños	4,2

Figura 3.5: tipos y denominación de vehículos utilizados en la Investigación.

### 3.2.2 (TPDA) Tráfico Promedio Diario Anual

Es la medida más recurrente de flujo vehicular. Se utiliza para caracterizar el tráfico cuando no existe el fenómeno de la congestión, así como para efectos de diseño de pavimentos. Es el valor que se incorpora generalmente a los modelos de deterioro de pavimentos. Equivalente al número de vehículos que pasan por un punto dado en un día (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013). El TPDA está constituido por el TPD (existente), el mismo que está circulando en la actualidad por la vía en estudio, considerando una tasa de crecimiento del tráfico (%), las cuales son utilizadas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Área de Factibilidad, las mismas que se presentan a continuación (*Tabla 3.1* en Ecuador y *Tabla 3.2* en Manabí).

Tabla 3.1: Tasa de crecimiento anual del Tráfico en Ecuador

PERIODO	LIVIANOS	BUS	CAMIONES
2016 – 2020	3,49	2,25	3,27
2021 – 2025	3,04	2,02	2,94

Tabla 3.2: Tasa de crecimiento anual del tráfico vehicular en Manabí

PERIODO	LIVIANOS	BUS	CAMIONES
2015 - 2020	3,15	2,48	2,46
2020 - 2025	2,64	2,23	2,22
2025 - 2030	2,41	2,03	2,01
2030 - 2035	2,41	2,03	2,01

Para obtener el TPDA de diseño o análisis sobre una vía, se multiplica el TPDA presente por el factor de crecimiento, de esta manera se logra generar un TPDA futuro con la finalidad de que la vía cumpla con su vida útil y de que todo análisis pueda representar valores muchos más exactos y lo más cercano a la realidad posible (Molina, y otros, 2015). Para conocer el factor de crecimiento anual mucho más exacto y rápido, las Normas Ecuatorianas Viales permiten emplear métodos de cálculo adquiridos por la PCA, además de la AASHTO, donde recomienda emplear únicamente el período de diseño en años y de la tasa de crecimiento anual.

Es de gran importancia recalcar que el periodo de diseño mínimo para toda obra civil en el Ecuador será de 10 años, así mismo, varios procedimientos y métodos de cálculo, optan por periodos de diseño de 20 a 40 años (Molina, y otros, 2015).

### **3.2.3 Clasificación Vehicular de Ecuador**

La clasificación de los diversos tipos de vehículos consiste en dividirlos o seccionarlos por tamaño, número de ejes, peso, entre otros. A continuación se presenta la clasificación estándar según normas AASHTO (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

Las dos clases más generales de vehículos (automotores) son:

- Vehículos livianos, que incluye a las motocicletas y a los automóviles así como a otros vehículos ligeros como camionetas y pickups, con capacidad hasta de 8 pasajeros y ruedas sencillas en el eje trasero;
- Vehículos pesados, como camiones, buses y combinaciones de camiones (semirremolques y remolques), de más de cuatro toneladas de peso y doble llanta en las ruedas traseras.

Generalmente se relaciona con el diseño geométrico de la carretera el dato de porcentaje de camiones, sobre el tránsito total, que se espera va a utilizar la vía (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013). Se llama vehículo de diseño a un tipo de vehículo cuyo peso, dimensiones y características de operación se usan para establecer los controles de diseño que acomoden vehículos del tipo designado, con propósitos de realizar el diseño geométrico (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013). Generalmente para el diseño de las carreteras es necesario conocer además del peso, la longitud, la altura y el ancho de los vehículos de diseño. Las dimensiones son útiles para el diseño de intersecciones, retornos, círculos de tráfico, intercambiadores, etc.

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas consideran varios tipos de vehículos de diseño, más o menos equivalentes a los de la AASHTO, así (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013):

- Vehículo liviano(A): A1 usualmente para motocicletas, A2 para automóviles;
- Buses y busetas (B), que sirven para transportar pasajeros en forma masiva;
- Camiones (C) para el transporte de carga, que pueden ser de dos ejes (C-1), camiones o tracto camiones de tres ejes (C-2) y también de cuatro, cinco o más ejes (C-3);
- Remolques (R), con uno o dos ejes verticales de giro y una unidad completamente remolcada, tipo tráiler o tipo Dolly.

En la (*Tabla 3.3*) se presentan las principales características de los cuatro tipos a que se puede reducir los mencionados antes (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

**Tabla 3.3: Características por tipos de vehículos**

Vehículo de diseño	A	B	C	D
Altura máxima (m)	2,40	4,10	4,10	4,30
Longitud máxima (m)	5,80	13,00	20,00	>20,50
Anchura máxima	2,10	2,60	2,60	3,00
<b>Radios mínimos de giro (m)</b>				
Rueda interna	4,70	8,70	10,00	12,00
Rueda externa	7,50	12,80	16,00	20,00
Esquina externa delantera	7,90	13,40	16,00	20,00

Nota: El remolque tipo Dolly, la longitud máxima pudiera ser mayor a los 20,50 metros por el transporte de elementos especiales de hormigón y/o acero, así como cargas especiales para hidroeléctricas, refineras, etc.

### 3.2.4 Porcentaje de vehículos a estudiar

Para aforar se tomó en cuenta cada sentido de circulación, recalcando que los tramos son lineales sin considerar ningún tipo de giro, dicha consideración fue tomada dado que las vías en estudio son de gran flujo vehicular, principales arterias de la ciudad de Portoviejo por donde habría muy poca desviación vehicular. En cada tramo de estudio se realizaron conteos volumétricos clasificados de tráfico. La cuantificación del tráfico vehicular se realizó de forma manual, 6 días a la semana de lunes a sábado, durante 12 horas diarias de 6 AM a 6 PM (Molina, y otros, 2015).

Dada la existencia de un peaje en la vía Manta-Portoviejo (E30), fue posible utilizar los datos de dicha estación, la misma que posee información detallada y precisa del tráfico que circula por dicha vía. Dicho recurso es muy confiable porque se basa en un monitoreo continuo (24 horas) lo que permite escoger datos de aforo vehicular que no estén afectados por situaciones particulares como feriados, accidentes automovilísticos, bloqueos de carreteras, entre otros (Molina, y otros, 2015). Por esta razón se utilizó en la vía M (vía Manta – Portoviejo) el mismo valor del conteo total proporcionado por el peaje en las tres tablas mostradas abajo (*Tabla 3.4, Tabla 3.5 y Tabla 3.6*)

Es así que de este aforo realizado en las vías mencionadas y para los vehículos escogidos en la presente investigación se obtuvo el siguiente TPD (tráfico promedio diario), para cada sentido de vía, es decir para los vehículos que entran hacia la ciudad y los vehículos que salen de la ciudad.

**Tabla 3.4: Tráfico promedio diario de las vías en estudio: Entrada a la ciudad**

Entrada a la ciudad								
Vía R			Vía S		Vía C		Vía M	
<b>Buses</b>	1245	36,60 %	2577	48,53 %	3207	35,88 %	7360	43,55 %
<b>2 ejes</b>	1580	46,44 %	1953	36,78 %	4246	47,51 %	7227	42,76 %
<b>3 ejes</b>	341	10,02 %	320	6,03 %	761	8,52 %	699	4,14 %
<b>5 Ejes</b>	17	0,50 %	19	0,36 %	88	0,98 %	572	3,38 %
<b>Pick up</b>	219	6,44 %	441	8,31 %	635	7,11 %	1043	6,17 %
<b>Total=</b>	3402		5310		8937		16901	

**Tabla 3.5: Tráfico promedio diario de las vías en estudio: Salida de ciudad**

Salida de la ciudad								
Vía R			Vía S		Vía C		Vía M	
<b>Buses</b>	1291	27,73 %	2176	28,44 %	3124	29,68 %	7360	43,55 %
<b>2 ejes</b>	1684	36,17 %	2938	38,40 %	4443	42,21 %	7227	42,76 %
<b>3 ejes</b>	353	7,58 %	227	2,97 %	1094	10,39 %	699	4,14 %
<b>5 Ejes</b>	17	0,37 %	18	0,24 %	158	1,50 %	572	3,38 %
<b>Pick up</b>	1311	28,16 %	2292	29,96 %	1706	16,21 %	1043	6,17 %
<b>Total=</b>	4656		7651		10525		16901	

**Tabla 3.6: Tráfico promedio diario de las vías en estudio: Salida y Entrada de ciudad**

Promedio Salida y Entrada								
Vía R			Vía S		Vía C		Vía M	
<b>Buses</b>	1268	31,47 %	2376,5	36,67 %	3165,5	32,53 %	7360	43,55 %
<b>2 ejes</b>	1632	40,51 %	2445,5	37,74 %	4344,5	44,65 %	7227	42,76 %
<b>3 ejes</b>	347	8,61 %	273,5	4,22 %	927,5	9,53 %	699	4,14 %
<b>5 Ejes</b>	17	0,42 %	18,5	0,29 %	123	1,26 %	572	3,38 %
<b>Pick up</b>	765	18,99 %	1366,5	21,09 %	1170,5	12,03 %	1043	6,17 %
<b>Total=</b>	4029		6480,5		9731		16901	

Dónde:

Vía R = Vía Rodeo – Portoviejo E30

Vía S= Vía Santa Ana – Portoviejo E462B

Vía C = Vía Rocafuerte – Portoviejo E39A

Vía M = Vía Manta – Portoviejo E30

Buses = 2DB

2 ejes = V2DB

3 ejes = V3A

5 ejes = 3S2

Camioneta = 2S (Pick up)

### **Análisis De La Información**

---

Los estudios de tráfico requieren información de campo que se procesa y genera un conjunto de índices denominados TPDA's o tráfico promedio diario anual, los cuales son imprescindibles para la toma de decisiones sobre transporte, costos, capacidades viales y otros procesos. Su cálculo requiere la contabilización pormenorizada del flujo o intensidad vehicular en un determinado punto (Molina, y otros, 2015).

Dentro del aforo, se pudo percatar de la presencia de gran flujo vehicular de distintas índoles, como evidencia del mismo, se presente a continuación graficas correspondientes al tipo de vehículos que transitaban por las distintas vías en estudio (Molina, y otros, 2015).

- Tipos De Vehículos Que Transitan Por Las Vía Que Confluyen En La Ciudad De Portoviejo E30 Manta-Portoviejo, E30 Rodeo-Portoviejo, E39a Rocafuerte-Portoviejo Y E462b Santa Ana-Portoviejo ( *Figura 3.6 a Figura 3.12*).



**Figura 3.6: Diferentes vehículos livianos (2 ejes simples)**



**Figura 3.7: Vehículos livianos con excesos de carga (2 ejes simples)**



**Figura 3.8: Bus transitando por la vía E30**



**Figura 3.9: Volqueta con tablón en la parte del balde, con la finalidad de generar mayor volumen de transporte de carga que lo permitido**



**Figura 3.10: Volquetas con tres ejes (1 simple – 2 dobles)**



Figura 3.11: Transporte de carga pesada con 5 ejes (1 simple – 4 dobles)



Figura 3.12: Vehículo liviano con exceso de carga, notorio asentamiento en eje trasero

En base a estos datos y a los 5 tipos de vehículos escogidos se presenta a continuación (*Tabla 3.7* y *Tabla 3.8*, respetivamente para la entrada y salida de la ciudad) la repartición de estos en cuanto al porcentaje promedio de los que circulan completamente cargados (MOPT), vacíos y los que circulan con exceso de cargas sobre sus vehículos. La *Tabla 3.9* presenta valores medios de la entrada y de la salida.

**Tabla 3.7: Porcentaje promedio de vehículos que circulan en Portoviejo (Vacíos, MOPT, Sobre carga): Entrada hacia la ciudad.**

VEHICULO	CANTIDAD	%TPDA	Entrada a la ciudad		
			VACIOS	MOPT	SOBRECARGA
BUS	3598	41,1 %	5 %	70 %	25 %
V2DB	3752	43,4 %	65 %	10 %	25 %
V3A	531	7,2 %	70 %	10 %	20 %
T3-S2	174	1,3 %	20 %	60 %	20 %
Pick-Up	585	7,0 %	70 %	10 %	20 %

**Tabla 3.8: Porcentaje promedio de vehículos que circulan en Portoviejo (Vacíos, MOPT, Sobre carga): Salida de la ciudad.**

VEHICULO	CANTIDAD	%TPDA	Entrada a la ciudad		
			VACIOS	MOPT	SOBRECARGA
BUS	3488	32,3 %	3 %	55 %	42 %
V2DB	4073	39,9 %	10 %	40 %	50 %
V3A	594	6,3 %	7 %	45 %	48 %
T3-S2	192	1,4 %	25 %	55 %	20 %
Pick-Up	1588	20,1 %	50 %	30 %	20 %

**Tabla 3.9: Porcentaje promedio de vehículos que circulan en Portoviejo (Vacíos, MOPT, Sobre carga): Promedio Salida y Entrada**

VEHICULO	CANTIDAD	%TPDA	Promedio Entrada y Salida		
			VACIOS	MOPT	SOBRE CARGA
BUS	3543	36,1 %	4,00 %	62,50 %	33,50 %
V2DB	3913	41,4 %	37,50 %	25,00 %	37,50 %
V3A	563	6,6 %	38,50 %	27,50 %	34,00 %
T3-S2	183	1,3 %	22,50 %	57,50 %	20,00 %
Pick-Up	1087	14,6 %	60,00 %	20,00 %	20,00 %

Dentro de las costumbres de muchos de los choferes que conducen los vehículos pesados (buses, camiones, volquetas, entre otros), es la de conducir por la derecha de los carriles de circulación, es así que notamos un porcentaje de 85% de estos que circulan por este lado del carril en las vías estudiadas.

### 3.3 Características Generales de la Red Vial de Ecuador

En la actualidad el Ecuador cuenta con una infraestructura vial en buen estado y varios kilómetros de carreteras de primer orden, estas carreteras en nuestro país presentan diversas formas tanto en estructura como en su diseño geométrico, esto debido a la planimetría tan variable que presenta, la cual es provocada en su mayoría por la cadena montañosa que lo atraviesa (Cordillera de los Andes).

Las diversas variables en la planimetría de Ecuador han provocado que las carreteras del país presenten las siguientes características longitudinales desfavorables:

- Sinuosidades continuas (horizontales);
- Sinuosidad vertical;
- Radios de curvas muy cerrados;
- Pendientes muy elevadas.

### 3.3.1 Clasificación Nacional De La Red Vial

Las carreteras en el país se las clasifica principalmente por:

- Clasificación por capacidad (función TPDA);
- Clasificación por jerarquía en la red vial;
- Clasificación por condiciones orográficas;
- Clasificación por número de calzadas;
- Clasificación en función de la superficie de rodamiento.

En la **Tabla 3.10** se muestra la clasificación de las vías según el MOPT (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

**Tabla 3.10: Clasificación Funcional de las Vías en base al TPDA**

Clasificación Funcional de las Vías en base al TPDA			
Descripción	Clasificación Funcional	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) al año de horizonte	
		Límite Inferior	Límite Superior
Autopista	AP2	80000	120000
	API	50000	80000
Autovía o Carretera Multicarril	AV2	26000	50000
	AVI	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

En esta clasificación considera un  $TPDA_d$  para el año horizonte se define como:

$TPDA_d$ : Año de inicio de estudios + Años de Licitación, Construcción + Años de Operación

C1 = Equivale a carretera de mediana capacidad

C2 = Equivale a carretera convencional básica y camino básico

C3 = Camino agrícola / forestal

Se define como años de operación (n); al tiempo comprendido desde la inauguración del proyecto hasta el término de su vida útil, teniendo las siguientes consideraciones (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013):

Proyectos de rehabilitación y mejoras.....n= 20 años

Proyectos especiales de nuevas vías.....n= 30 años

Mega proyectos nacionales.....n= 50 años





**Figura 3.13: Vía interurbana en la ciudad de Portoviejo. Calle José María Urbina y Cesar Chávez Cañarte**

Existen varios tipos de vías interurbanas, que son (Molina, y otros, 2015):

### **Autopista**

---

Carretera que está especialmente proyectada, construida y señalizada como tal para la exclusiva circulación de automóviles y otros tipos de automotores, y reúne las siguientes características (Molina, y otros, 2015):

- a) No tener acceso a la misma las propiedades colindantes;
- b) No cruzar a nivel ninguna otra senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía, ni ser cruzada a nivel por senda, vía de comunicación o servidumbre de paso alguna.

Por lo tanto está prohibida la circulación de bicicletas y ciclomotores por ella por varias razones. Principalmente por ser vías de circulación rápida y los ciclomotores y bicicletas correrían mucho peligro al tener estas restricciones en cuanto a su velocidad (Molina, y otros, 2015):

### **Autovía**

---

Carretera que no reuniendo todos los requisitos de autopista tiene calzadas separadas para cada sentido de circulación y limitación de accesos a propiedades colindantes. No cruzará a nivel ninguna otra senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía, ni será cruzada a nivel por senda, vía de comunicación o servidumbre de paso alguna. En esta clase de vía las

bicicletas y ciclomotores sí pueden circular, siempre atendiendo las normas establecidas en la Ley y Reglamento de circulación (Molina, y otros, 2015).

### **Vía rápida**

---

Carretera de una sola calzada y con limitación total de accesos a las propiedades colindantes. Las vías rápidas no cruzarán a nivel ninguna otra senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía, ni serán cruzadas a nivel por senda, vía de comunicación o servidumbre de paso alguna (Molina, y otros, 2015).

### **Carreteras convencionales**

---

Son las que no reúnen las características propias de las autopistas, autovías y vías rápidas (Molina, y otros, 2015).

### **Partes De La Vía Pública**

---

La vía pública es una dotación urbanística, constituida por el sistema de espacios e instalaciones asociadas, delimitados y definidos por sus alineaciones y rasantes, y destinados a la estancia, relación, desplazamiento y transporte de la población así como al transporte de mercancías, incluidas las plazas de aparcamiento ordinarias y las superficies cubiertas con vegetación complementarias. Son de uso y dominio público en todo caso y a efectos de los deberes de cesión y urbanización tienen siempre carácter de dotaciones urbanísticas públicas (Molina, y otros, 2015).

A continuación la **Figura 3.14** muestra las partes principales por las que está constituida una vía.



**Figura 3.14:** Detalle grafico de una via y sus partes

- Plataforma: Zona de la carretera dedicada al uso de vehículos, formada por la calzada y los arcenes;
- Calzada: Parte de la carretera dedicada a la circulación de vehículos. Se compone de un cierto número de carriles;
- Carril: Banda longitudinal en que puede estar subdividida la calzada, delimitada o no por marcas viales longitudinales, siempre que tenga una anchura suficiente para permitir la circulación de una fila de automóviles que no sean motocicletas;
- Acera: Zona longitudinal de la carretera elevada o no, destinada al tránsito de peatones;
- Zona peatonal: Parte de la vía, elevada o delimitada de otra forma, reservada a la circulación de peatones. Se incluye en esta definición la acera, el andén y el paseo;
- Berma (Espaldón): Franja longitudinal afirmada contigua a la calzada, no destinada al uso de vehículos automóviles, más que en circunstancias excepcionales;
- Intersección (Cruce): Nudo de la red viaria en el que todos los cruces de trayectorias posibles de los vehículos que lo utilizan se realizan a nivel (Molina, y otros, 2015).

### **3.3.2 Encuadramiento legal**

---

La norma Ecuatoriana vial Nevi-12 contiene las especificaciones técnicas aplicables a los procedimientos para la operación, mantenimiento y seguridad vial, bajo los principios de equidad o trato nacional, equivalencia, participación, excelencia, sostenibilidad ambiental y competitividad sistémica, que hacen posible la seguridad peatonal de los usuarios y de los conductores en los caminos, pasarelas y puentes de la red vial (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

Las normativas de las NEVI-12, son el producto de un nuevo planteamiento para la seguridad vial, el tráfico y los procedimientos de operación y mantenimiento de las vías en Ecuador (Ministerio de Transporte Y Obras Públicas, 2013).

En este sentido, la norma NEVI-12 ha sido sistematizada el conocimiento y criterio técnico de los diversos especialistas nacionales respecto de las mejores prácticas, procedimientos y normativas de otros países aplicables a la realidad y necesidades tecnológicas ecuatorianas con proyecciones a largo plazo para un servicio vial sustentable y seguro (Ministerio de Transporte Y Obras Públicas, 2013).

## **Responsabilidad.**

---

El gobierno central y los gobiernos autónomos descentralizados en su jurisdicción, tienen la obligación de mantener la infraestructura del transporte terrestre, la señalización y los dispositivos de control y de seguridad vial, que estuvieren a su cargo. Las tareas y obras de mantenimiento podrán ser ejecutadas por otro nivel de gobierno distinto al titular, previo convenio suscrito con la autoridad competente (Asamblea Nacional, 2017).

## **Planes de mantenimiento.**

---

En la actualidad existen planes de mantenimiento vial elaborados por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MOPT) dentro de las normas NEVI-12 las cuales resultarían muy eficaces en nuestro país si fueran aplicadas tal como ésta las enumera, pero la realidad es que muchas veces la acción de mantenimiento se aplica solo cuando la estructura del pavimento o el pavimento flexible por si solo ya ha fallado, es decir se aplica una reparación puntual en baches o en rodaduras en el asfalto.

### **3.3.3 Red Estatal**

El MOPT como rector del desarrollo de la red vial estatal, tiene a su cargo 8.653,6 kilómetros de carreteras, de las cuales 6.741 son administradas de forma directa, 1.350 km están concesionadas y 562 km delegadas a los consejos provinciales. Actualmente, se intervinieron hasta 2012 4.860 km de carreteras y 16.970 m lineales de puentes, de los cuales el 54% son destinados a trabajos de reconstrucción, mejoramiento y rehabilitación. Además, para garantizar el normal tráfico, varias carreteras de la red principal son ampliadas a 4, 6 y 8 carriles, incluidos los accesos a las poblaciones adyacentes (Ministerio de Transporte y obras Publicas, 2012).

**Tabla 3.11: Clasificación de las Vías según tipo de estructura**

<b>Estado Actual</b>	<b>Tipo de Pavimento</b>	<b>Longitud KM</b>	<b>Porcentaje %</b>
INTERVENIDAS	Pavimento Flexible	3.382	50,2
	Pavimento Rígido	1.118	16,6
	Doble Tratamiento Superficial Bituminoso	180	2,7
	Mantenimiento	2.061	30,5
<b>TOTAL</b>		<b>6.741</b>	<b>100,00</b>

En la actualidad la cantidad de carreteras intervenidas asciende hasta los 9706 km dentro de los 10 últimos años de gobierno en el país (Diario el Telégrafo, 2015).

La longitud de los caminos vecinales representa casi el doble de los terciarios excepto en la región amazónica, una de las regiones naturales del país (E-ASPHALT, 2014).

### 3.3.4 Distribución de la Red Vial Nacional

Se define como red vial estatal al conjunto de caminos de propiedad pública sujetos a la normatividad y marco institucional vigente. Está integrado por las redes primaria y secundaria, que se la ha denominado red nacional; más las redes terciaria y vecinal, denominada provincial (E-ASPHALT, 2014).

El conjunto de vías primarias y secundarias son los caminos principales que registran el mayor tráfico vehicular, intercomunican a las capitales de provincia, cabeceras de cantón, los puertos de frontera internacional con o sin aduana y los grandes y medianos centros de actividad económica (E-ASPHALT, 2014).

La red provincial está compuesta de caminos terciarios, que conectan cabeceras de parroquias y zonas de producción con los caminos de la red nacional y caminos vecinales, de un reducido tráfico (E-ASPHALT, 2014).

La Red Vial Nacional del Ecuador se distribuye de la manera que se muestra en la **Tabla 3.12**.

**Tabla 3.12: Red Vial Nacional Según Categoría de Camino**

RED VIAL NACIONAL SEGUN CATEGORIA DE CAMINO		
Clasificación De Caminos	Longitud (Km)	% Total De La Red
<b>Caminos Primarios</b>	5.608,84	12,98
<b>Caminos Secundarios</b>	3.876,42	8,97
<b>Caminos Terciarios</b>	11.105,93	25,71
<b>Caminos Vecinales</b>	22.153,98	51,29
<b>Caminos Locales</b>	452,20	1,05
<b>Total</b>	43.197,37	100,0

Sin los caminos locales, la longitud total de la red se aproxima a los 42.800 km, la mayor extensión se encuentra en la Sierra, la región interandina del País, una de las cuatro en las que se divide el Ecuador (E-ASPHALT, 2014).

El 12 % de la red vial total está pavimentada y el 57% con superficie de rodadura afirmada; entre ambos aseguran la movilización continua durante todo el año entre las regiones del país; sin embargo, algo más de la cuarta parte de la red son caminos de tierra,

presentan condiciones precarias; la mayor parte pertenece a caminos terciarios y vecinales (E-ASPHALT, 2014).

- **Red Terciaria y Vecinal**

---

Se ha agrupado los caminos de las dos clases por cuanto su diferencia es casi cualitativa, ya que por definición son aquellos que vinculan zonas de producción a centros poblados con las vías primarias o secundarias. Los caminos vecinales, puede entenderse que son las vías de apertura de la frontera agrícola y no es significativa la diferencia debido a la clase de camino, sino más bien por otras características, en especial, la superficie de rodadura y su ancho (E-ASPHALT, 2014).

### **3.4 Cargas aplicadas por los vehículos**

---

#### **3.4.1 Cálculo de cargas.**

---


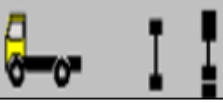


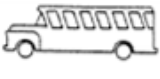
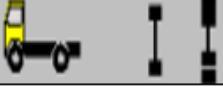






El método de determinación de las cargas reales que se transmiten desde los neumáticos hacia el pavimento de las vías podría resultar un tanto complejo y más aún determinar los excesos de carga con los que circulan los vehículos en nuestro país (Ecuador).

Entonces para esto fue necesario realizar varios y exhaustivos trabajos de pesajes en las carreteras en estudio, mediante medidores de cargas estáticas facilitadas por la policía nacional del Ecuador y también en canteras de la ciudad que cuentan con básculas que miden la carga total de los vehículos que entran y salen de estas.


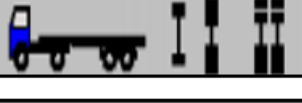
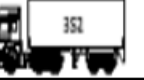


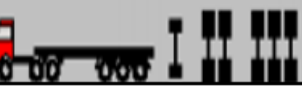
Estos pesajes de los vehículos en estudios fueron realizados en 2016 junto con el Ing. Santiago King como trabajo de investigación (Molina, y otros, 2015).

**Tabla 3.13: Comparativa entre las cargas estimadas por el MOPT y las cargas Halladas**

CUADRO DEMOSTRATIVO DE TIPOS DE VEHICULOS

TIPO	DISTRIBUCION CALCULADA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCION	PESO MAXIMO PERMITIDO (Ton)	PESO MAXIMO HALLADO (Ton)
V20B			18	23.57
	9.17 Tn   14.40 Tn	VOLQUETA DE 2 EJES 8 m3		
V3A			27	33.76
	8.75 Tn   25.01 Tn	VOLQUETA DE 3 EJES 10-14 m4		
BUS			18	19.8
	7.70 Tn   12.10 Tn	BUS		
20			7	7
	3.00 Tn   4.00 Tn	CAMION DE DOS EJES PEQUEÑO		
LIVIANO			4.2	4.2
	1.70 Tn   2.50 Tn	VEHICULO LIVIANO		
ACOPLADO			4.2	4.494
	1.82 Tn   2.68 Tn	VEHICULO LIVIANO CON SOBRECARGA		

CUADRO DEMOSTRATIVO DE TIPOS DE VEHICULOS

TIPO	DISTRIBUCION CALCULADA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCION	PESO MAXIMO PERMITIDO (Ton)	PESO MAXIMO HALLADO (Ton)
252			38	42.63
	7.85 Tn   12.34 Tn   22.44 Tn	TRACTO CAMION DE DOS EJES Y SEMI REMOLQUE DE DOS EJES		
352			47	50.2
	7.48 Tn   21.36 Tn   21.36 Tn	TRACTO CAMION DE DOS EJES Y SEMI REMOLQUE DE DOS EJES		
353			48	55.2
	7.58 Tn   21.65 Tn   25.98 Tn	TRACTO CAMION DE DOS EJES Y SEMI REMOLQUE DE DOS EJES		

La **Tabla 3.13** muestra la diferencia de cargas que existe entre los pesos máximos permitidos por las nomas NEVI-12 y el peso promediado hallado en los pesajes realizados en las canteras y carreteras estudiadas. Cabe recalcar que estos pesos fueron obtenidos en totalidad de la masa de los vehículos por lo que fue necesario estimar las cargas por eje para cada tipo de vehículo estudiado.

Con estos pesajes se obtuvo un estimado de las cargas ejercidas sobre cada eje de los diferentes tipos de vehículos presentados, pero esto fue hecho de una forma muy empírica

determinando las cargas mediante porcentajes de descargas extraídos de los pesos de los vehículos determinados por el MOPT, esta metodología se presenta a continuación:

Para esta explicación se toma como ejemplo la volqueta de tres ejes (V3A), un eje simple y un eje tándem.

- Se tomó la cantidad total del peso estimado por el MOPT del vehículo:

$$PT = 27 \text{ Ton}$$

Este PT representa el total de la carga del vehículo, luego se toma la carga por eje que está estipulada también por el MOPT

V3A					VOLQUETA DE TRES EJES 10-14 m <sup>3</sup>	27
-----	---	---	---	---	---	----





$$\text{Eje MOPT 1} = 7 \text{ Ton} \quad \text{y} \quad \text{Eje MOPT 2} = 20 \text{ Ton}$$

- Se determina el porcentaje de influencia según la carga que tiene cada eje del vehículo:

$$\% \text{Eje 1} = \frac{7 \text{ Ton}}{27 \text{ Ton}} * 100 = 26\% \quad ; \quad \% \text{Eje 2} = \frac{20 \text{ Ton}}{27 \text{ Ton}} * 100 = 74\%$$

- Ya con estos porcentajes de influencia determinados, se los multiplicó con el peso determinado mediante los trabajos de pesajes, es decir el peso de sobrecarga con el que circulan los vehículos y así se obtuvieron las descargas por ejes de estos sobrepesos (SC) incluido el peso del vehículo:

$$\text{Eje SC 1} = 0,26 * 33,76 \text{ Ton} = 8,75 \text{ Ton} \quad ; \quad \text{Eje SC 2} = 0,74 * 33,76 \text{ Ton} = 25,01 \text{ Ton}$$

V3A					VOLQUETA DE 3 EJES 10-14 m <sup>4</sup>	27	33.76
	8.75 Tn	25.01 Tn					

De esta misma manera se realizó el cálculo de los pesos por ejes para los demás tipos de vehículos estudiados con sobrecarga.

**Tabla 3.14: Cargas halladas por el autor de vehículos con exceso de carga (en Ton)**

		Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	Total
BUS	Autor	7,70	12,10	---	---	---	19,80
V2DB	Autor	9,17	14,40	---	---	---	23,57
V3A	Autor	8,75	12,50	12,50	---	---	33,76
T3-S2	Autor	7,48	10,68	10,68	10,68	10,68	50,20
Pick Up	Autor	1,82	2,68	---	---	---	4,49

Se destaca es esta parte que los valores presentados en la **Tabla 3.14** en cuanto a los valores hallados por el software TruckSim son valores de descargas sin rugosidad en la vía para colocar valores más parecidos a las descargas estáticas, en el proceso de cálculo de los factores de agresividad si se utilizaron valores de rugosidades, pero esto se explica más adelante. Aun así se presencian valores mayores que los hallados analíticamente debido a que el software toma en cuenta la descarga de los neumáticos mientras el vehículo está en movimiento, esto se traduce en descargas dinámicas.

Es así como en el presente trabajo se presenta la forma en que mediante estos pesos se calculó las cargas reales que se transmiten hacia el pavimento por cada eje de los tipos de vehículos más relevantes tomados del TPDA presentado con anterioridad en la **Tabla 3.6**.

Con estos pesos y el cálculo necesario se obtuvo el factor equivalente de carga (FEQ) que transitaría por cada vía utilizando interpolaciones para cada tipo de vía, obteniéndose los siguientes valores (**Tabla 3.15**):

**Tabla 3.15: Factor equivalente de carga para ejes de 8,2 Ton (80 kN) para capas asfálticas de 6" y factor de importancia pt de 2.5**

Tipo de vehículos	Tipo de eje	Carga MOPT	FEQ (0.6)	Carga SC	FEQ (0.6)
LIVIANOS	S	1,7	0,0018	1,82	0,0020
	S	2,5	0,0073	2,68	0,0086
BUS	S	7	0,5292	7,70	0,7952
	S	11	3,4086	12,10	4,9690
V2DB	S	7	0,5292	9,17	1,6211
	S	11	3,4086	14,40	9,6993
V3A	S	7	0,5292	8,75	1,3517
	TAN	20	3,1767	25,01	7,7115
T3-S2	S	7	0,5292	7,48	0,6983
	TAN	20	3,1767	21,36	4,1583
	TAN	20	3,1767	21,36	4,1583

Donde FEQ (0.6) indica el factor equivalente de carga de 8,2 Ton para asfaltos de 6 Pulg de espesor y la carga (SC) es la sobrecarga medida en los vehículos incluido su peso propio.

Con estos valores que representan el daño de cada eje transformado a ejes equivalentes de 80 kN, se calculó el daño de la corriente del tráfico obteniendo los siguientes valores (**Tabla 3.16**):

**Tabla 3.16: Factor Camión (Agresividad) de la corriente promedio de tránsito en Portoviejo para un factor de importancia pt de 2.5**

Tipo de vehículos	Tipo de eje	Carga MOPT	% vehículos	FEQ (0.6)	FC MOPT	Carga SC	FEQ (0.6)	FC SC
Liviano	S	1,7	14,57 %	0,0018	0,0091	1,82	0,0020	0,0107
	S	2,5		0,0073		2,68	0,0086	
BUS	S	7	36,06 %	0,5292	3,9378	7,70	0,7952	5,7642
	S	11		3,4086		12,10	4,9690	
V2DB	S	7	41,41 %	0,5292	3,9378	9,17	1,6211	11,3204
	S	11		3,4086		14,40	9,6993	
V3A	S	7	6,63 %	0,5292	3,7059	8,75	1,3517	9,0632
	TAN	20		3,1767		25,01	7,7115	
T3-S2	S	7	1,34 %	0,5292	6,8825	7,48	0,6983	9,0148
	TAN	20		3,1767		21,36	4,1583	
	TAN	20		3,1767		21,36	4,1583	
Agresividad=					3,3899		TOTAL =	7,4896

Esto evidencia claramente el daño que provocan los vehículos al circular con exceso de carga, también se debe entender que este método usado no permite la división del tráfico por forma de circulación, es decir no permite dividir el número de vehículos que transitan llenos, vacíos y con exceso de carga, como si lo permite el método aplicado en la presente investigación, utilizando los datos por separado.

Utilizando los factores de crecimiento de la

**Tabla 3.2** e interpolándolos para el periodo de diseño entre 2015 y 2010 se obtuvieron los siguientes factores de crecimiento vehicular en Manabí.

**Tabla 3.17: Tasa de crecimiento Anual de tráfico vehicular en Manabí para el periodo 2015-2035**

Tasa de crecimiento anual de tráfico vehicular en Manabí.			
Periodo	Liviano	Bus	Camión
2015 - 2035	2,65	2,19	2,18

Para la determinación del número de ejes equivalentes se usó la siguiente ecuación:

$$N = TPD * \frac{A}{100} * \frac{B}{100} * 365 * \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)} * A$$

En donde:

N = Número de ejes equivalente

TPD = Trafico Promedio Diario

A (fds) = Porcentaje estimado de vehículos empleados en el diseño (sean los mismos todos los considerados en el aforo, o solo pesados, considerados como buses + camiones)

- B (fuc) = Porcentaje de vehículos que emplean el carril de diseño  
 r = Tasa anual de crecimiento del tránsito  
 n = Periodo de diseño  
 A = Agressividade

Los datos mostrados en la **Tabla 3.18** representan valores de número de ejes equivalentes para las vías en estudio con un periodo de diseño (n) igual a 20 años, considerando como trafico promedio diario el adquirido en la presente investigación para el año 2016; el valor de B es 50, ya que los carriles son en ambos sentidos y el tráfico es dividido para ambos carriles (100/2) y el valor FC mostrado en la **Tabla 3.16**

<b>Tabla 3.18: Numero de ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño con valores hallados por el autor</b>						
<b>CARGAS SEGÚN:</b>	<b>SN</b>	<b>VEHÍCULOS</b>	<b>Rodeo Portoviejo E30</b>	<b>Santa Ana-Portoviejo E462B</b>	<b>Rocafuerte-Portoviejo E39A</b>	<b>Manta-Portoviejo E30</b>
<b>MOPT</b> Basadas en las NEVI-12	3	Totales	19.114.525,52	30.004.473,97	50.615.822,18	49.843.003,57
		Buses + Camión	543.312,99	579.124,24	1.403.504,84	1.597.064,88
	4	Totales	17.948.349,74	28.104.133,57	47.575.686,48	46.898.950,82
		Buses + Camión	510.165,51	542.445,27	1.319.206,19	1.502.731,81
	5	Totales	18.433.784,19	28.842.624,09	48.875.214,69	48.230.774,04
		Buses + Camión	523.963,54	556.699,07	1.355.240,27	1.545.405,97
6	Totales	19.534.354,45	30.593.694,73	51.772.923,57	51.104.500,31	
	Buses + Camión	555.246,25	590.496,94	1.435.589,62	1.637.485,64	
<b>INVESTIGADORES</b> Datos obtenidos para la presente investigación	3	Totales	44.618.230,72	67.410.899,43	118.100.453,41	107.284.993,31
		Buses + Camión	1.268.230,72	1.301.115,48	3.274.757,79	3.437.615,77
	4	Totales	39.123.017,53	59.124.009,72	103.618.456,54	94.643.276,37
		Buses + Camión	1.112.036,17	1.162.771,37	2.873.192,59	3.032.551,05
	5	Totales	39.878.272,72	60.243.279,69	105.636.972,87	96.625.910,07
		Buses + Camión	1.133.503,61	1.162.771,37	2.929.163,18	3.096.078,41
6	Totales	43.812.595,87	66.140.025,53	116.031.389,23	105.865.809,67	
	Buses + Camión	1.245.333,17	1.276.586,01	3.217.385,58	3.392.142,41	

Donde queda evidenciado que los datos de numero de ejes equivalentes obtenidos por los datos recomendados por las normas NEVI-12 en la mayoría de los casos represente menos de la mitad del número de ejes equivalentes obtenidos por los pesos reales calculados por lo que por relación directa se dedujo que el periodo de vida útil de las vías calculadas mediante las normas NEVI-12 podrían reducirse a la mitad debido al exceso de carga con que transitan los vehículos en nuestro país “ECUADOR”.

### **3.5 Simulación con el software TruckSim**

---

En el presente trabajo se pretende demostrar si la hipótesis es real o no mediante el cálculo de las afectaciones reales que se tienen sobre los pavimentos debido al exceso de carga con el que transitan ciertos vehículos sobre las estradas nacionales.

Para esto fue necesario utilizar el programa TruckSim el cual es capaz de simular situaciones reales de circulación de vehículos siendo este capaz de variar las situaciones de circulación tales como pendientes de la vía, rugosidad, velocidad de circulación, tipos de vehículos, entre otros.

La *Figura 3.15* muestra la ventana de entrada del software, compuesto esencialmente por cuatro módulos:

- (1) definición del vehículo (configuración del tipo de vehículo, carga del vehículo y definición del tipo de vehículo);
- (2) definición del procedimiento (definición geométrica de la carretera, definición de la velocidad de circulación y definición de la rugosidad de la carretera);
- (3) cálculo (proceso interno del software previo a la obtención de resultados) y
- (4) visualización de los resultados.

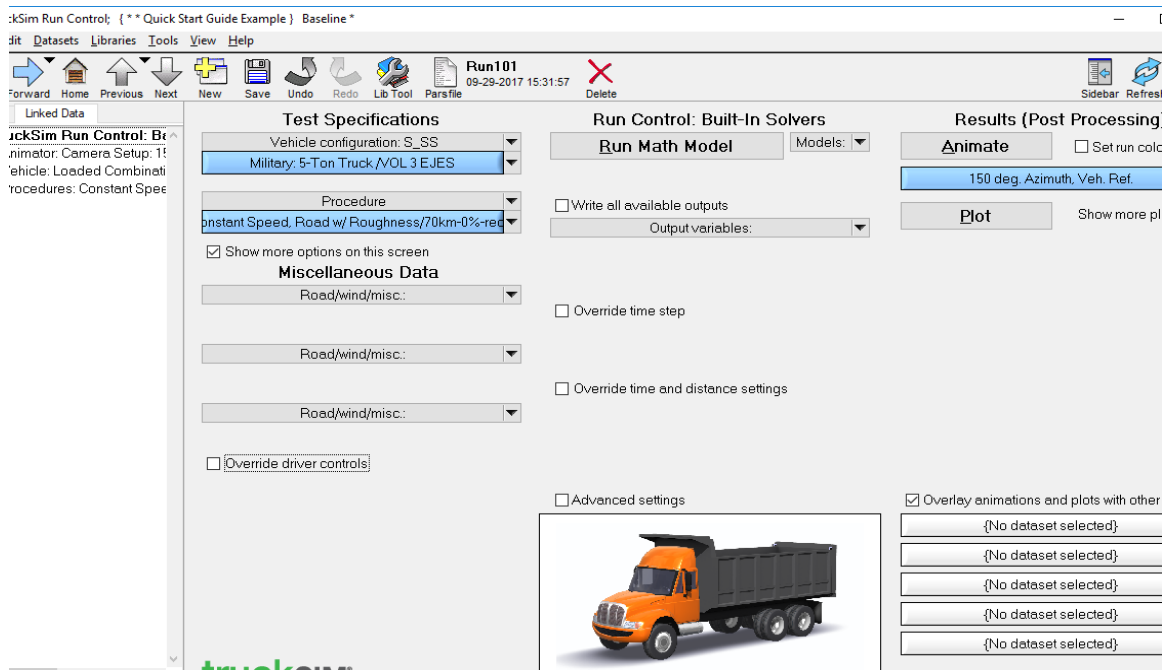


Figura 3.15: Vista general del software TruckSim

### 3.5.1 Definición Del Vehículo

- 1).- Se escogió un vehículo lo más parecido a una volqueta de tres ejes al cual se le retiro toda carga previa para conocer la carga que transmiten los neumáticos sobre el pavimento para conocer su peso propio, lo cual nos permitirá a priori colocar las cargas que simulen los casos conocidos en nuestro medio “Ecuador”.

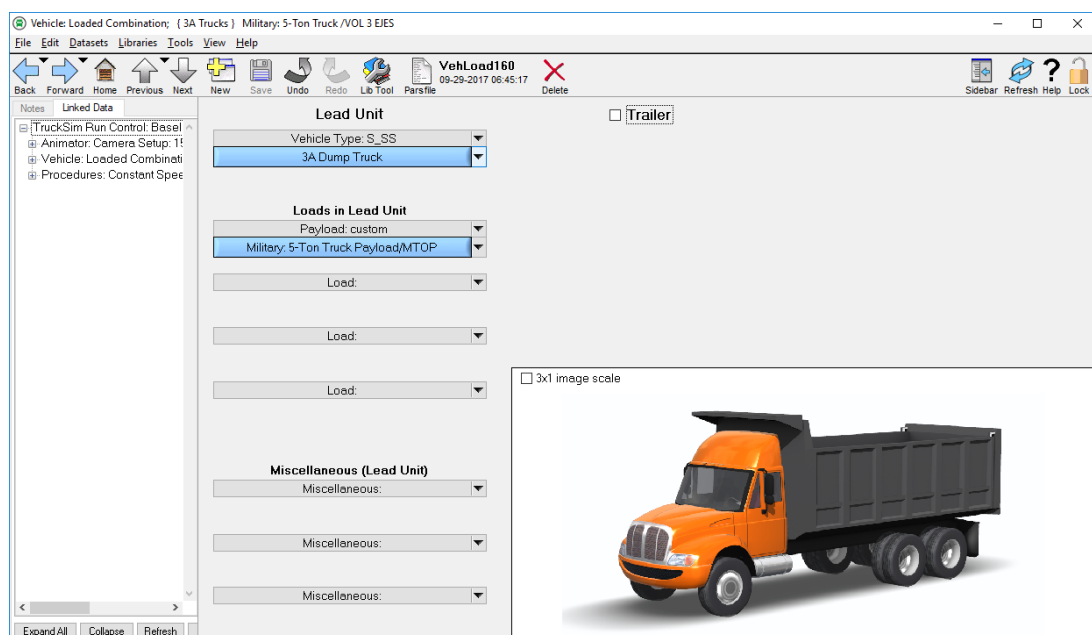
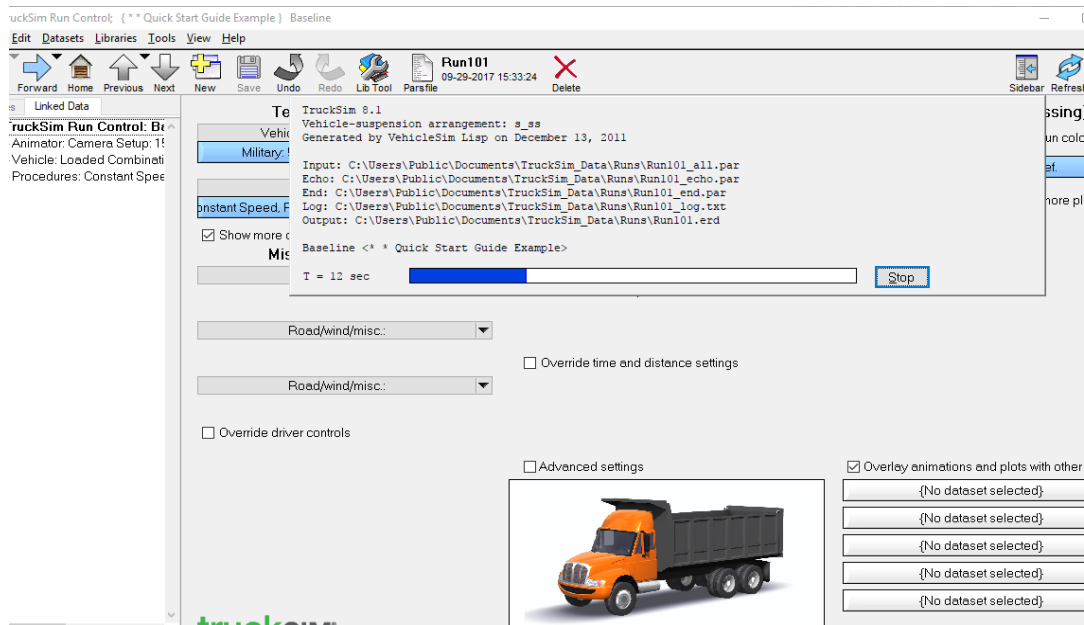


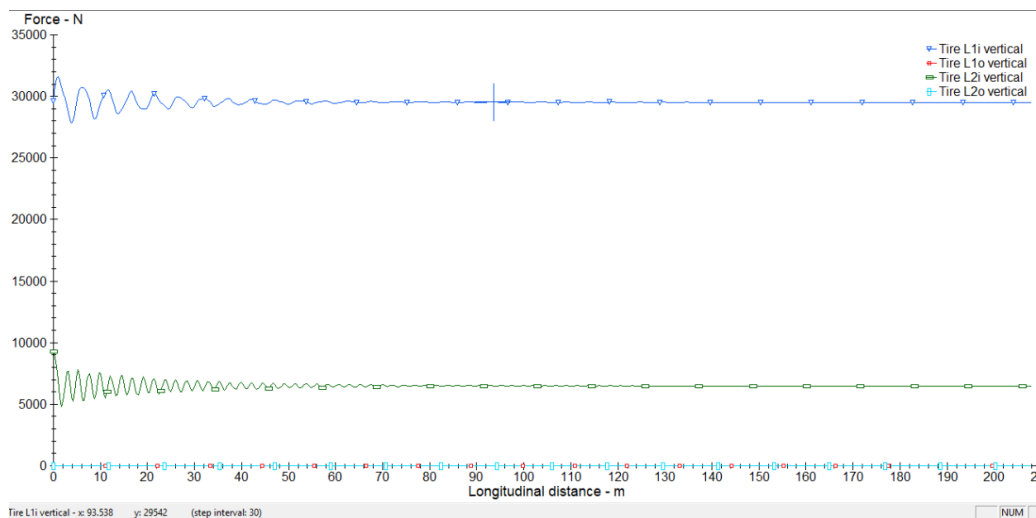
Figura 3.16: Ventana de edición de vehículos

- 2).- Se corre el programa para proceder a revisar los valores de descarga al pavimento



**Figura 3.17: Ventana de cálculo o corrida del programa**

- 3).- Una vez calculado, habiendo simulado para una vía donde se asume 0 rugosidad para efectos de una mejor medición del cálculo del peso propio del vehículo se procede a observar el valor de carga en cada rueda y sumando cada una se calcula el peso del vehículo.

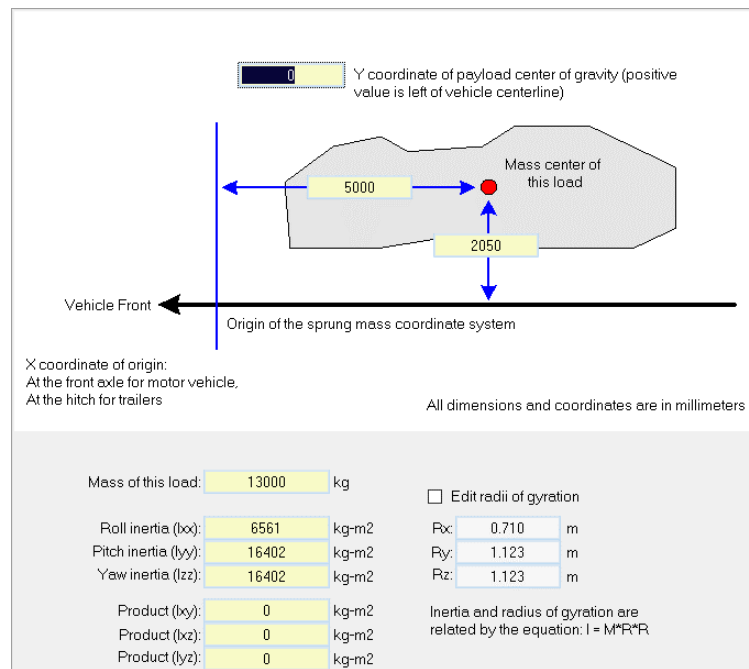


**Figura 3.18: Fuerza descargada por los neumáticos sobre el pavimento a lo largo del recorrido**

Para este objetivo se quitó de la característica de la estrada su rugosidad es decir se colocó una rugosidad de 0 para que la descarga del peso se pueda acercar más a una fuerza estática ya que este programa determina las descargas de fuerzas dinámicas que es la fuerza que vamos a determinar para el objeto de la presente investigación.

Este proceso es repetitivo para los demás vehículos con la finalidad de simular las cargas que se manejan en nuestro país.

Para proceder a colocar las cargas sobre los vehículos se procede a dar clic en el icono Loads in lead Unit, así se abre la ventana de la **Figura 3.19** donde se puede editar las cargas y sus longitudes.



**Figura 3.19: Ventana de edición de las cargas del vehículo**

Así para cada vehículo tanto para las cargas reales como para las cargas máximas estipuladas en las normas NEVI-12.

### 3.5.2 Creación de un vehículo no existente en el catálogo del programa

En el programa de simulación no existía ningún tipo de vehículo que simule una volqueta de dos ejes simples (V2DB) por lo que se procedió a crearla de la siguiente manera:

- 1).- Se eligió un tipo de vehículo que tenga el mismo tipo de chasis y tipo de ejes para su posterior edición el cual es el que se muestra en la **Figura 3.20**.

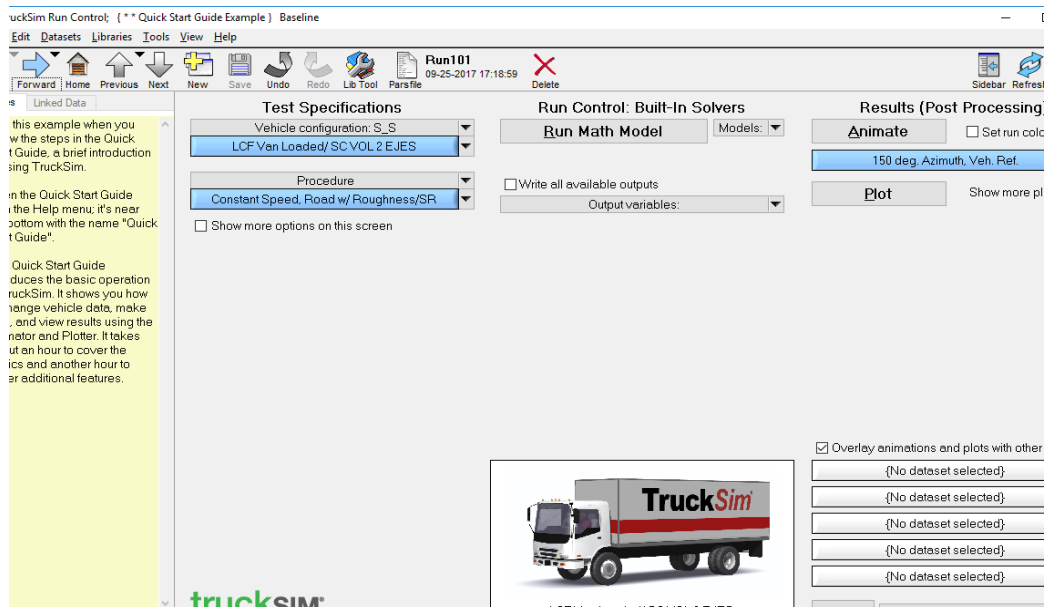


Figura 3.20: Camión de dos ejes simples que se editara a volqueta de dos ejes simples de 8m<sup>3</sup>

2).- Ingresamos a la ventana de edición del vehículo dando click en vehicle configuration: S\_S

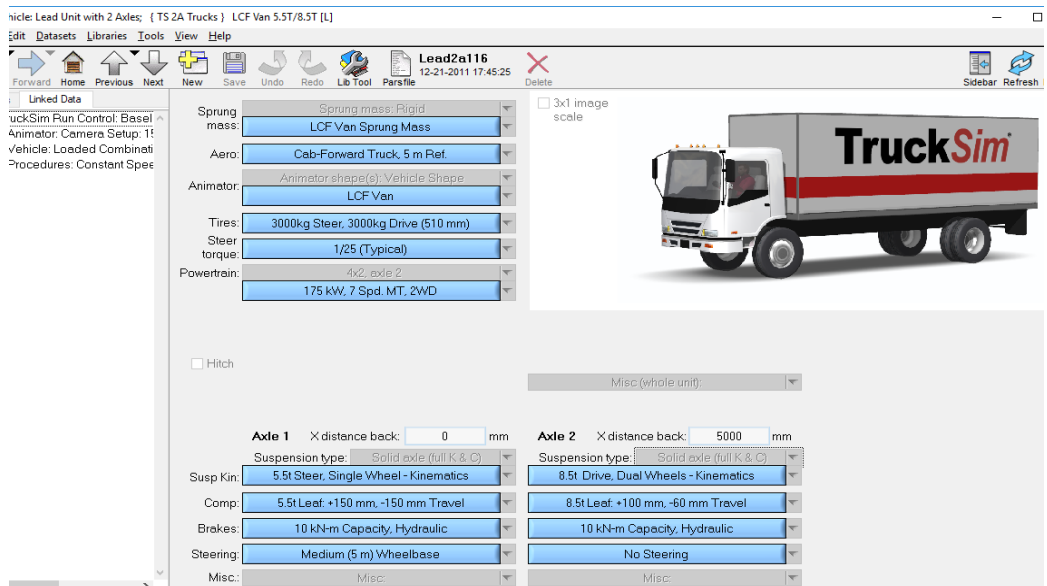
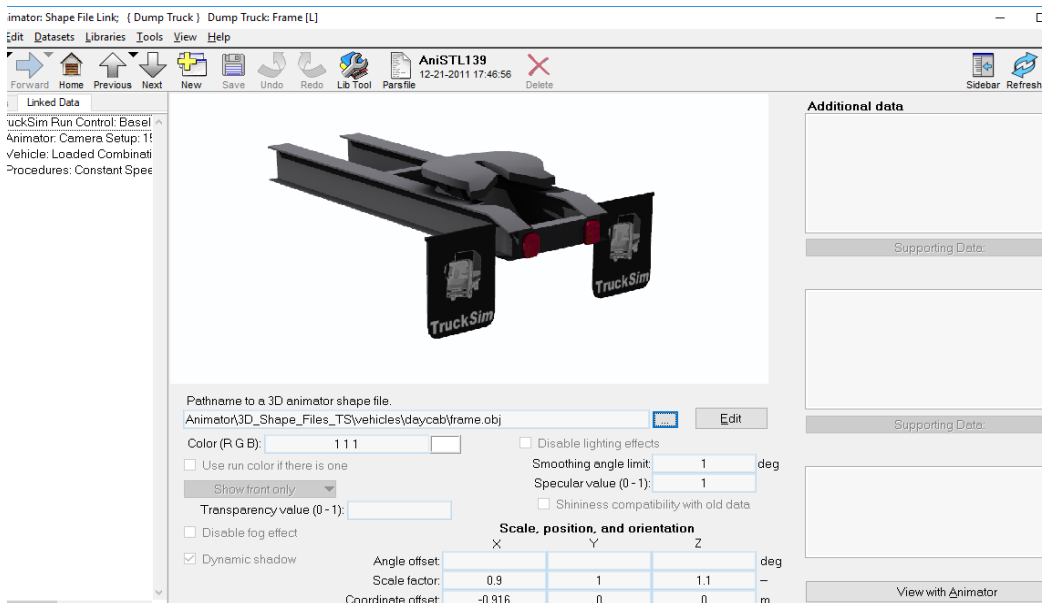


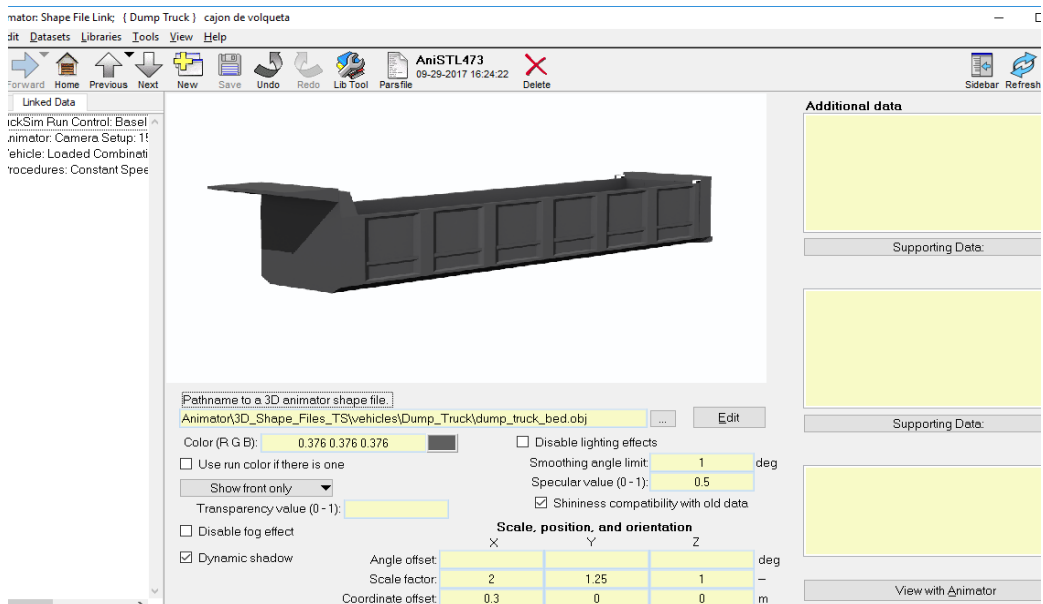
Figura 3.21: Ventana de edición donde se puede crear la volqueta de 2 ejes simples (V2DB)

3).- Una vez en esta ventana se elige el tipo de chasis colocándole así uno con elevador de cajón para volquetas como se observa en la *Figura 3.22*



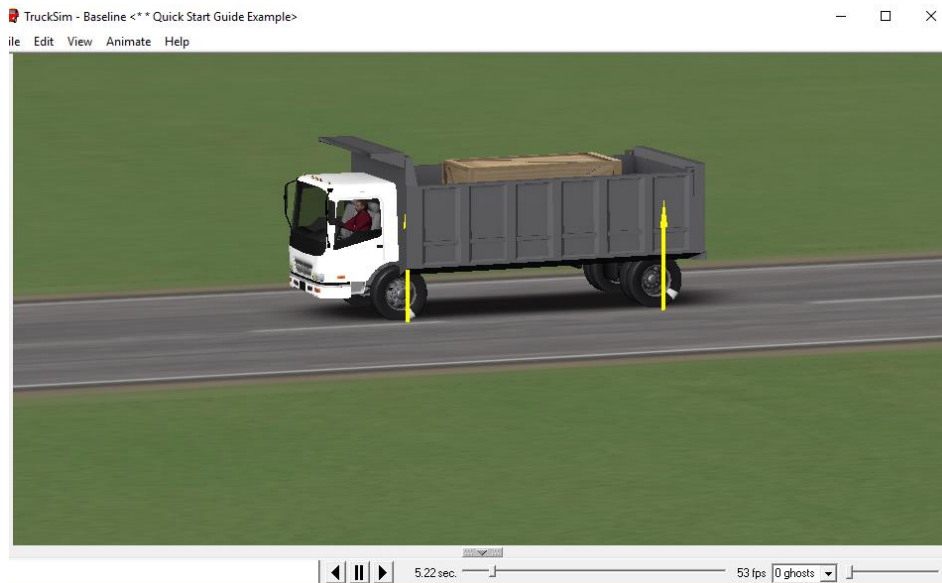
**Figura 3.22: Chasis con elevador de cajón para volquetas**

4).- Finalmente colocamos el balde tipo cajón para completar la edición de la volqueta.



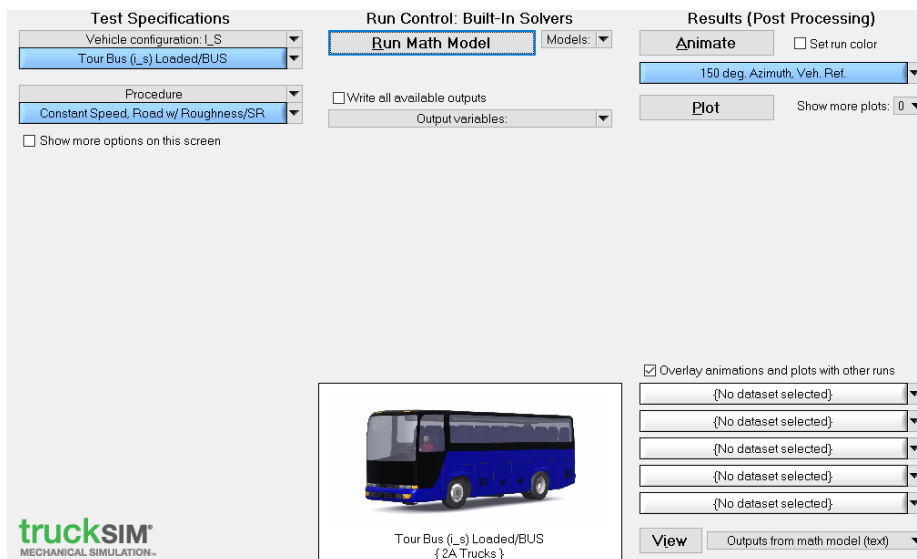
**Figura 3.23: Cajón para volquetas**

Es así como final mente se obtiene el vehículo necesario para las situaciones de estudio para la presente investigación. Agregando a los pasos anteriores la adhesión del peso necesario que transportara tanto para las cargas recomendadas por las normas NEVI-12 como las cargas reales calculadas.



**Figura 3.24: Volqueta editada de 2 ejes simples (V2DB)**

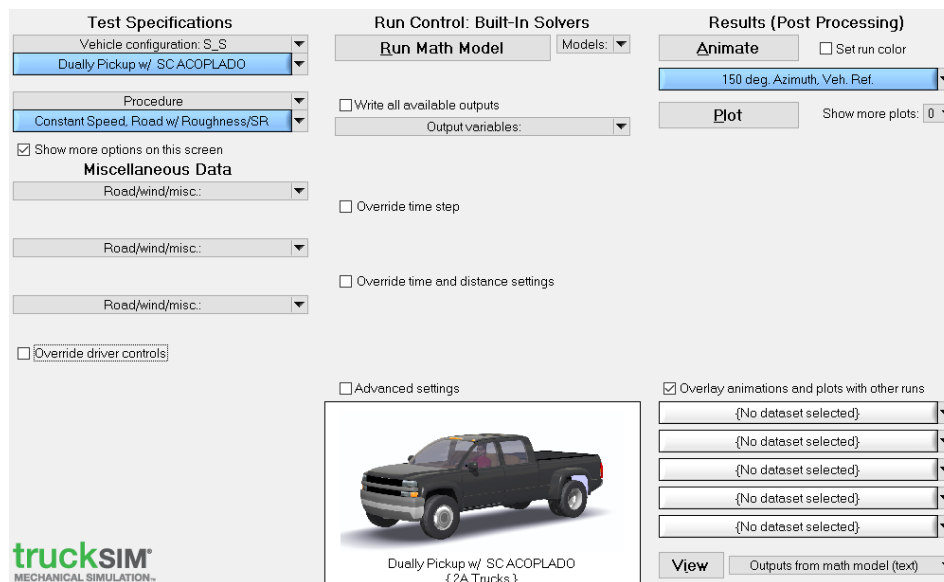
Así de esta manera resumida se aplicó cada paso para cada uno de los tipos de vehículos señalados con anterioridad como los más determinantes en el presente estudio obteniéndose así los siguientes modelos de vehículos simulados en el programa TruckSim.



**Figura 3.25: Vehículo que simula a buses (BUS)**



**Figura 3.26: Vehículo que simula el tracto camión de 5 ejes (T3-S2)**



**Figura 3.27: Camioneta de ejes simples (Pick-Up)**

### 3.5.3 Definición del procedimiento

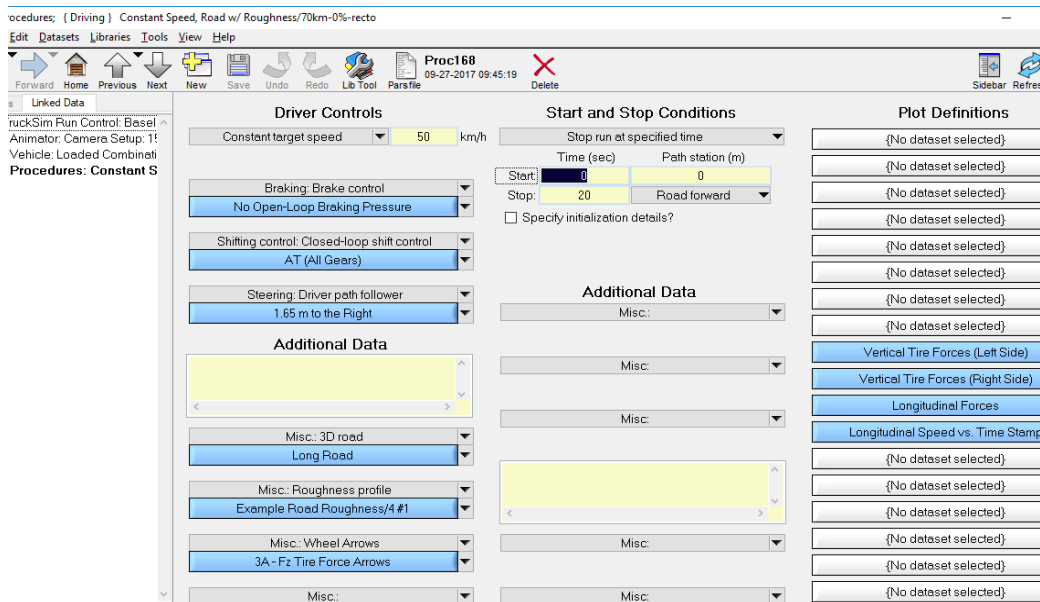
Para realizar una mejor estimativa y comparativa de los efectos que provocan los vehículos al transitar con excesos de cargas fue necesario analizar la movilidad de estos sobre diversos trazados de vías y características de las mismas.

Para crear estos escenarios fue necesario editar ciertos campos en el programa TruckSim, para esto se editan los campos haciendo click en el icono Procedure que se muestra en la **Figura 3.15**.

Una vez dentro, se abre una ventana como se muestra en la **Figura 3.28**, en esta ventana se muestran todos los iconos donde se pueden editar característica de la vía como:

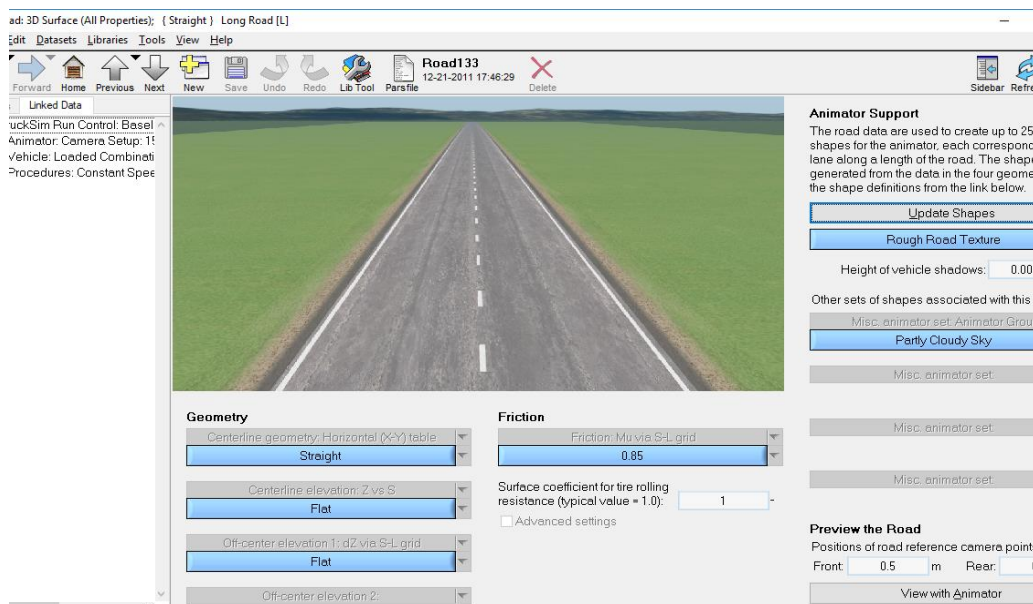
- trazado longitudinal;
- pendientes longitudinales;
- pendientes transversales;

- rugosidad de la calzada (IRI);
- Velocidades, entre otros.

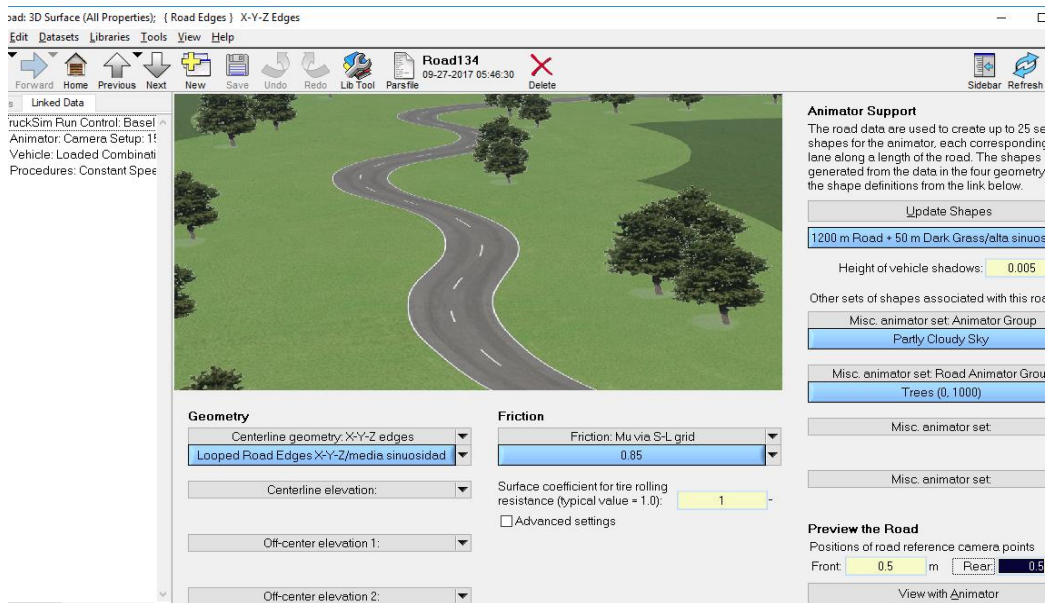


**Figura 3.28: Pantalla de edición de las características de la vía.**

Es aquí donde podemos editar e indicarle al programa las características de la vía donde va a circular el vehículo, permitiendo un análisis más real del fenómeno ocurrido entre el neumático y la superficie en contacto de la vía. Para esto debemos entrar en el icono de Long Road.

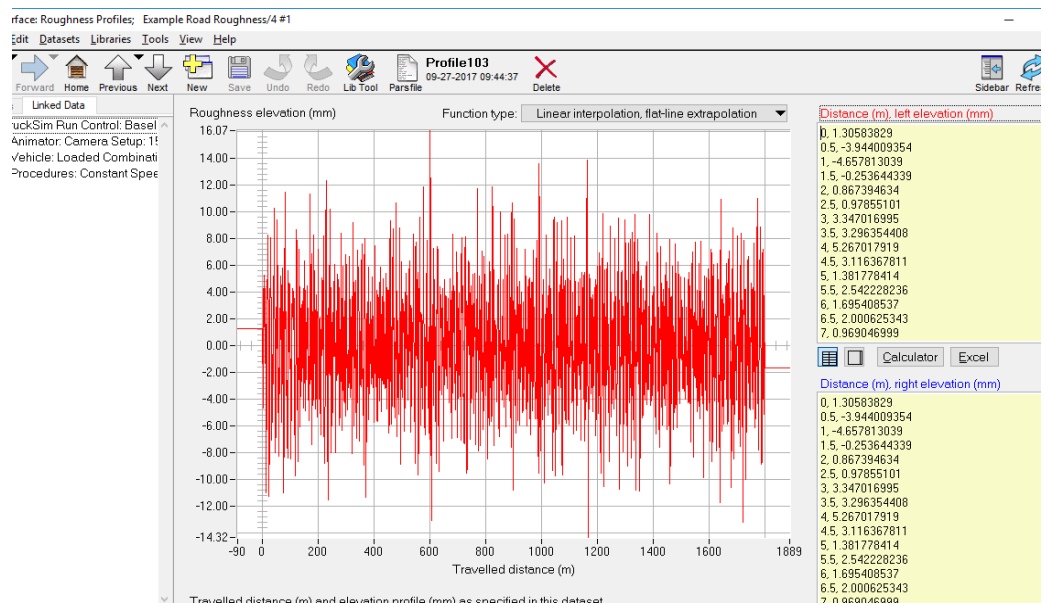


**Figura 3.29: Modelo de vía recta.**



**Figura 3.30: Modelo de vía con sinuosidad**

Una de las características más importantes para la seguridad y al mismo tiempo para el comportamiento estructural de una vía es la rugosidad que esta tenga, para poder editar esta característica en el pavimento debemos entrar en el icono roughness profile, desde aquí ingresamos los datos que tengamos de rugosidades, la ventana en la que se ingresan estos datos es igual a la que visualizamos en la **Figura 3.31**



**Figura 3.31: Perfil de rugosidad alta de la vía**

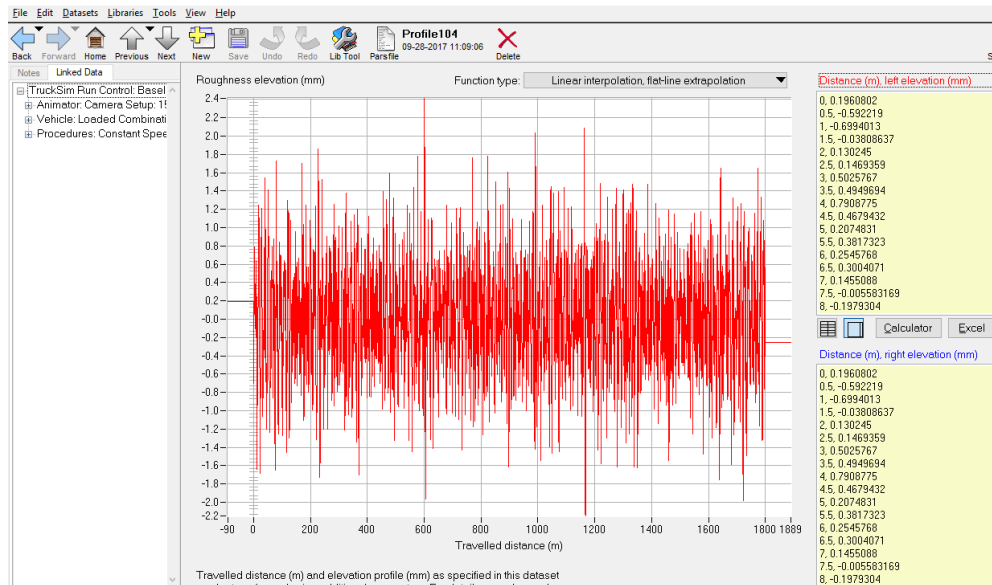


Figura 3.32: Perfil de rugosidad baja de la vía

### 3.5.4 Simulación de la vía sinuosa

La vía sinuosa que se simuló en el software fue la siguiente, con las siguientes características:

- 1).- Mediante la implementación del software AutoCAD se diseñó un modelo de vía con curvas que tienen radios promedios de giro de 180 m y 250 m respectivamente y con una longitud total de 1,32 Km, esto con la finalidad de obtener las coordenadas de la vía cada 25 m a ambos costados de la misma con un ancho de calzada de 8 m

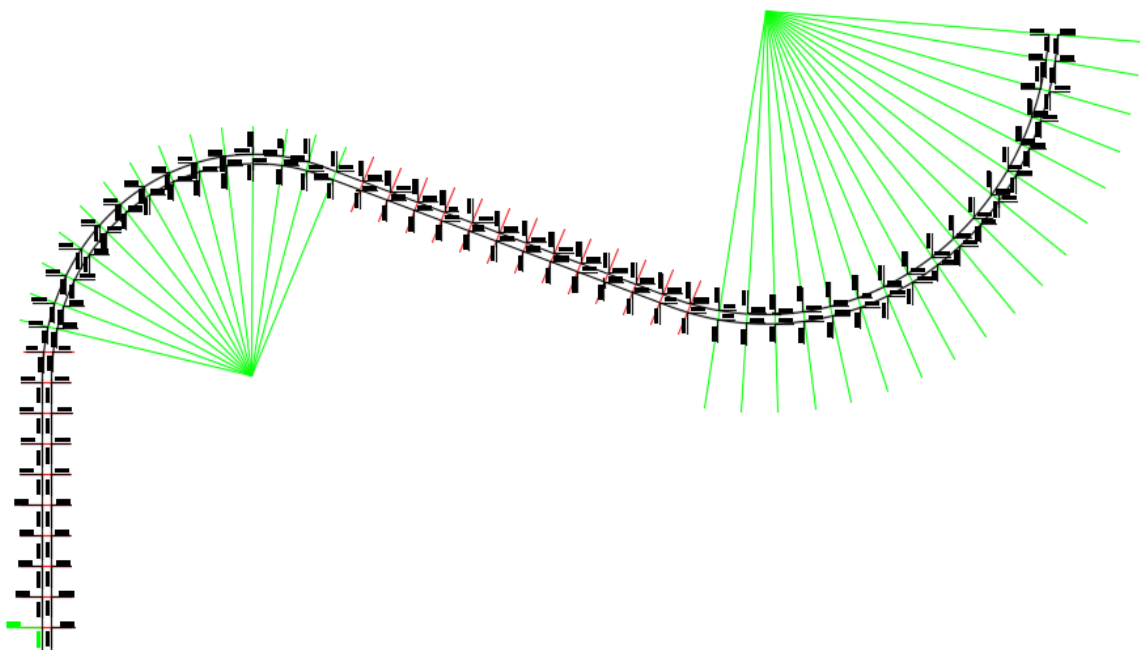
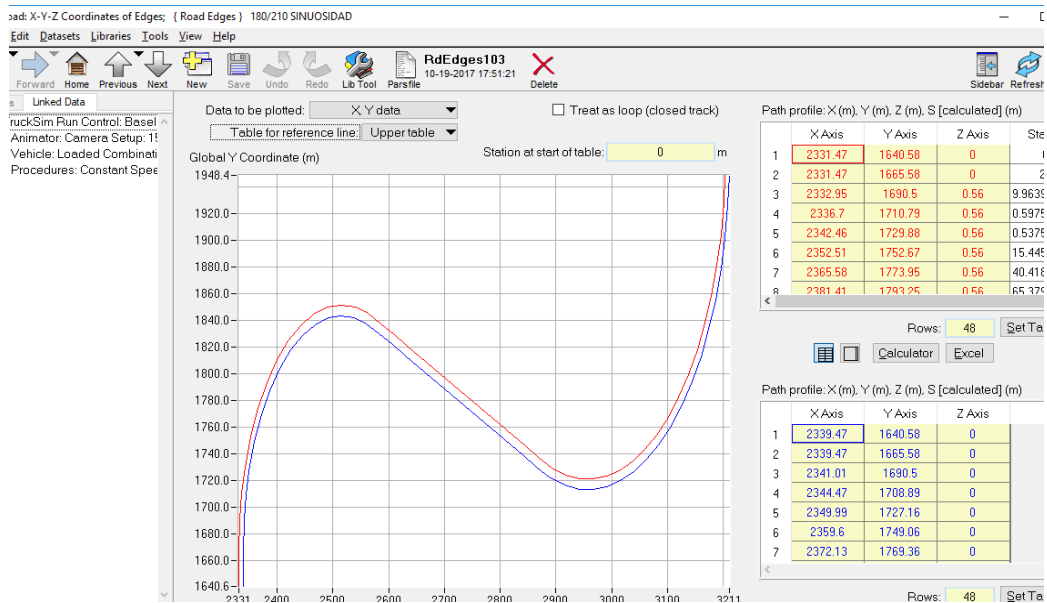
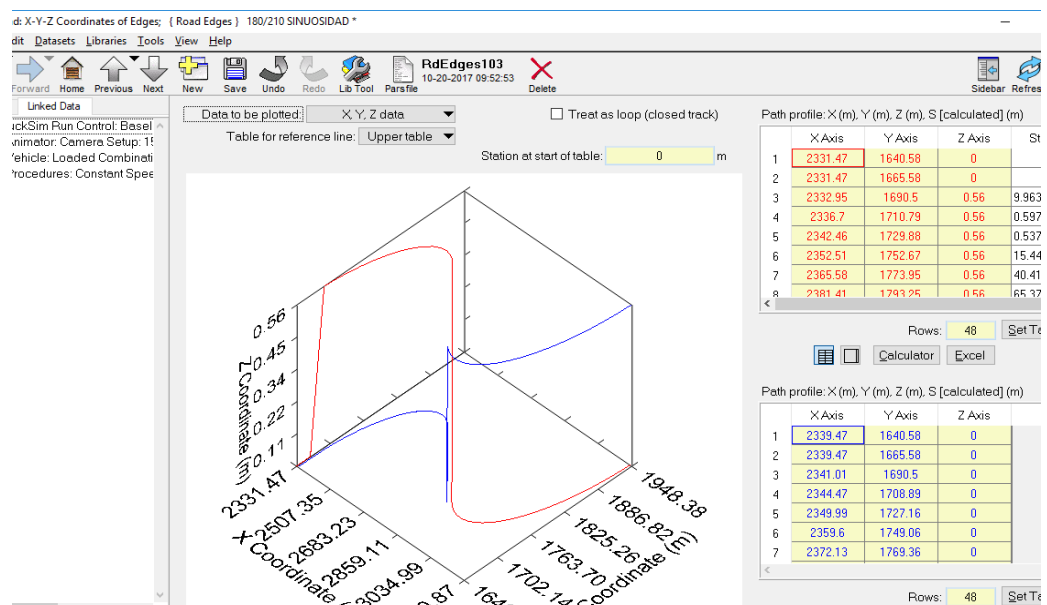


Figura 3.33: Diseño geométrico de vía sinuosa en AutoCAD y coordenadas transversales

- 2).- Estas coordenadas se trasladaron a una hoja de Excel a la cual se le añadió una coordenada en Z la cual permitirá simular en el software TruckSim la pendiente perpendicular (Transversal) de la vía la cual se consideró de un 7% para los radios de curvatura antes mencionados el cual dio un total de 56 cm para un ancho de calzada de 8 m. Este valor solo fue añadido en las curvas de la vía diseñada.
- 3).- Así una vez ingresados estos datos en el software de simulación queda definida la vía sinuosa como se muestra en la **Figura 3.34** y **Figura 3.35**.



**Figura 3.34: Vía sinuosa simulada en software TruckSim vista 2D**



**Figura 3.35: Vía sinuosa simulada en software TruckSim vista 3D**

Para añadir y editar las pendientes en las vías en necesario entrar en el icono llamado Centerline Elevation: Z vs S que se muestra en la ventana de la **Figura 3.30**, en la opción

Flat se coloca el porcentaje de inclinación que sea necesaria para simular el tipo de vía que se requiera, como se ve en la siguiente imagen.

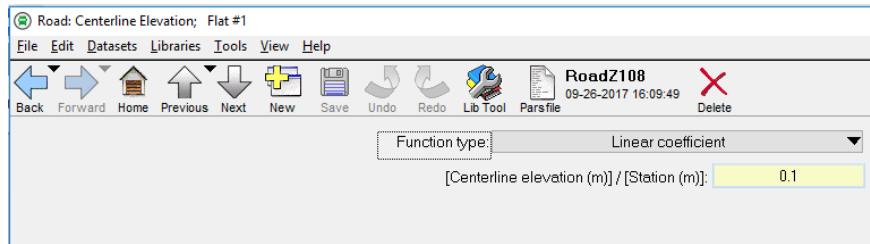


Figura 3.36: Ventana de edición de la pendiente longitudinal de las vías.

### 3.5.5 Cálculo interno del software TruckSim

Una vez creados los escenarios se corre el programa para determinar las cargas que los neumáticos ejercen sobre las vías de una manera más real y así posteriormente determinar las afectaciones reales que estas provocan sobre los pavimentos en este caso flexibles, para esto se hace click en el icono Run Math Model de la ventana principal de la *Figura 3.15*.

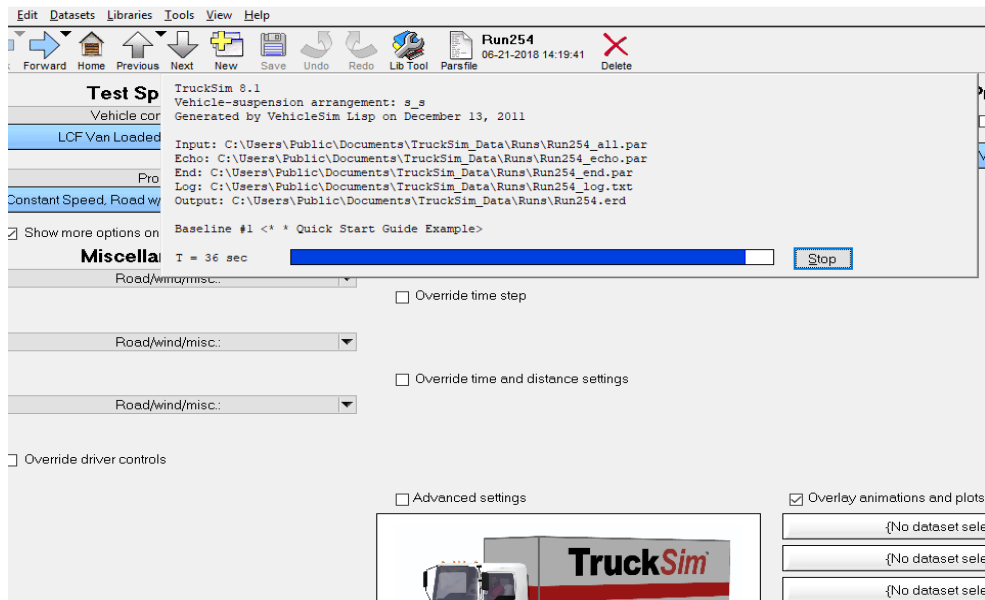


Figura 3.37: Ventana del software mientras calcula los resultados

#### 3.5.5.1 Visualización de los resultados

La visualización primaria de los resultados se presenta como lo observamos en la *Figura 3.38* y para acceder a esta ventana debemos entrar en el icono Plot de la ventana principal de la *Figura 3.15*.

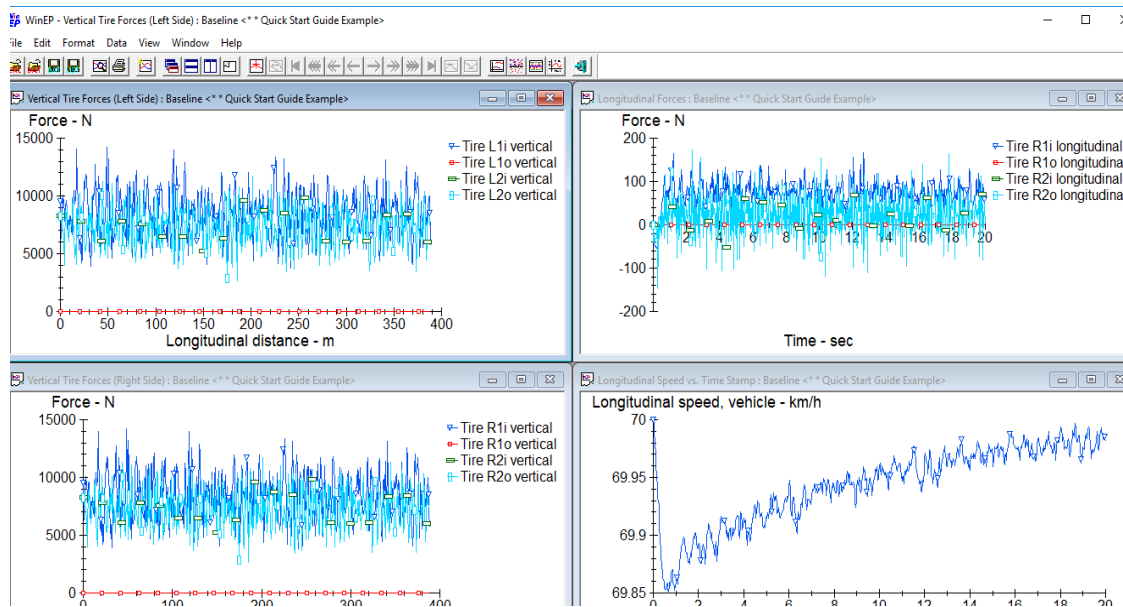


Figura 3.38: visualización gráfica de los resultados.

Por ser una vía recta tanto los neumáticos del lado izquierdo como los del lado derecho muestran similitud en sus valores de descarga.

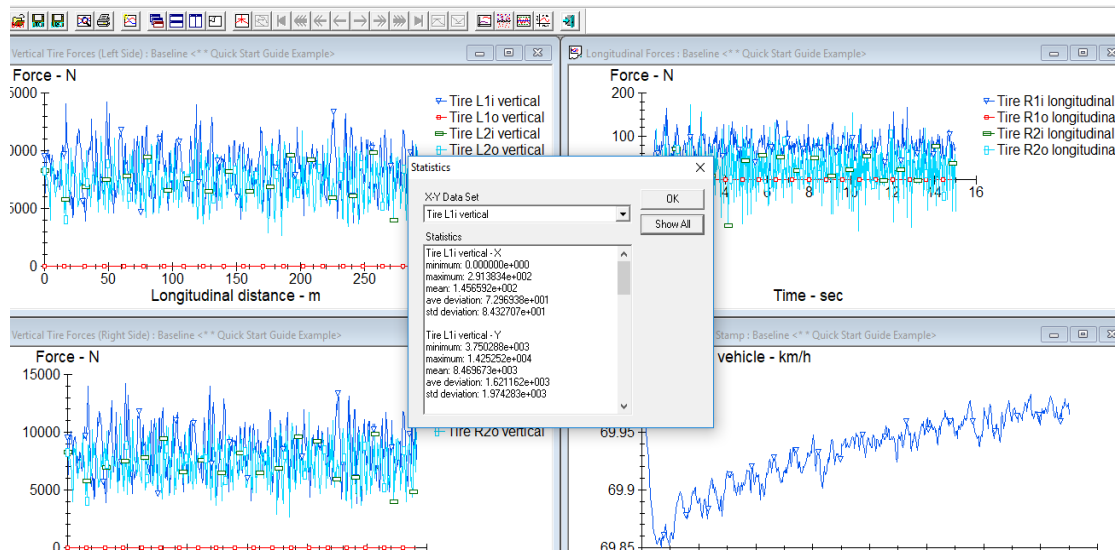


Figura 3.39: Tabla de datos estadísticos principales del cálculo realizado

Así se analizan las descargas que realizan los vehículos en cada rueda

Esta simulación para cada uno de los vehículos anteriormente mencionados permitió hallar la descarga de peso ejercida por cada rueda sobre la vía (alta y baja rugosidad), para distintas pendientes longitudinales (0, 5 y 10 por ciento), tanto de forma dinámica como estática.

Para poder obtener el valor de la descarga de los neumáticos de forma dinámica se procedió a retirar todos los valores de la descarga cada 50 cm a lo largo de una vía de 1 km, esto para cada tipo de vehículo y para cada tipo de vía escogida para el estudio

presente, estos valores el programa los descarga como un block de notas como se muestra a continuación:

```

3ejesMOPT-recto-0%-RA.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
** File generated by WinEP - 9/29/2017 (3:41p) **

Station      Fz_L1i
0.000000     29725.205078
0.486054     24245.431641
0.971754     26227.697266
1.457082     31831.187500
1.942417     32422.251953
2.427975     32163.734375
2.913786     33469.960938
3.399935     30929.539063
3.886398     30233.837891
4.373073     25358.421875
4.859766     22394.671875
5.346270     23276.632813
5.832539     22795.667969
6.318538     23987.064453
6.804307     24671.431641
7.289712     25874.380859
7.774508     27248.529297
8.258801     30893.435547
8.742850     34578.503906
9.227023     32539.980469
9.711616     30387.515625
10.196506    29784.021484
10.681896    27222.041016
11.167840    23597.572266
11.653958    22541.402344
12.140067    21872.804688
12.626022    23327.972656
13.111652    30111.152344
13.597217    32226.507813
14.082746    35946.902344

```

**Figura 3.40: Ejemplo de valores retirados del TruckSim para la obtención de 85 percentil de las cargas dinámicas ejercidas por los neumáticos.**

Por ser demasiado extenso el número de valores retirados por cada vehículo y vía (cerca de 8000 valores), se mostraran directamente los valores calculados del percentil 85 presentado en el capítulo 4 de la presente investigación.

### **Percentil: generalidades**

El percentil es una medida de posición usada en estadística que indica, una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones en un grupo de observaciones. Por ejemplo, el percentil 20 es el valor bajo el cual se encuentran el 20 por ciento de las observaciones. Hay que agrupar las muestras de menor a mayor valor.

Se representan con la letra **P**. Para el percentil **i-ésimo**, donde la **i** toma valores del 1 al 99. El **i** % de la muestra son valores menores que él y el **100-i** % restante son mayores.

Aparecen citados en la literatura científica por primera vez por Francis Galton en 1885 (Galton, 1885).

$$P_{25} = Q_1$$

$$P_{50} = Q_2 = \text{mediana}$$

$$P_{75} = Q_3$$

### **Percentil: Cálculo con datos no agrupados**

---

Un método para establecer un percentil sería el siguiente: Calculamos:

$$x = \frac{n * i}{100}$$

Donde  $n$  es el número de elementos de la muestra e  $i$ , el percentil. El resultado de realizar esta operación es un número real con parte entera  $E$  y parte decimal  $D$ . Teniendo en cuenta estos dos valores, aplicamos la siguiente función:

$$P_i = \begin{cases} \text{elemento}(E + 1), & \text{para } D \neq 0 \\ \frac{\text{elemento}(E) + \text{elemento}(E + 1)}{2}, & \text{para } D = 0 \end{cases}$$

Esta última operación brinda el valor del percentil pedido:

Para obtener el percentil 85 de las descargas de los vehículos se utilizó la herramienta de cálculo de Excel por lo que se aplicó la siguiente formula:

### **PERCENTIL.EXC(matriz;cuart)**

---

La sintaxis de la función PERCENTIL.EXC tiene los siguientes argumentos:

**Matriz.-** Obligatorio. Es la matriz o el rango de datos que define la posición relativa

**K.-** Obligatorio. Es el valor de percentil en el rango de 0 a 1, ambos excluidos (Microsoft, 2016):

Así aplicada esta ecuación para cada rango de valores y para todos los escenarios y tipos de vehículos en estudio, con lo que se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 3.19: Comparación entre cargas estáticas halladas por el autor y las dinámicas del software TruckSim para vía recta e IRI alto (en Ton).**

		Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	Total
<b>BUS</b>	<b>TruckSim</b>	6,79	13,32	---	---	---	20,11
	<b>Autor</b>	7,70	12,10	---	---	---	19,80
<b>V2DB</b>	<b>TruckSim</b>	10,28	13,87	---	---	---	24,15
	<b>Autor</b>	9,17	14,40	---	---	---	23,57
<b>V3A</b>	<b>TruckSim</b>	5,82	14,27	14,27	---	---	34,37
	<b>Autor</b>	8,75	12,50	12,50	---	---	33,76
<b>T3-S2</b>	<b>TruckSim</b>	5,23	11,01	11,04	12,88	13,24	53,39
	<b>Autor</b>	7,48	10,68	10,68	10,68	10,68	50,20
<b>Pick Up</b>	<b>TruckSim</b>	1,78	3,43	---	---	---	5,21
	<b>Autor</b>	1,82	2,68	---	---	---	4,49

## **4 Agresividad del Tráfico en Diversos escenarios de Trazado General e Irregularidad y respectivo Daño**

---

En este capítulo se pone en presentación los diversos escenarios escogidos para un mayor rango de comparaciones y mejor entendimiento del fenómeno ocurrido en la presente investigación, así como la simulación de las cargas calculadas para la posterior obtención de los factores de agresividad que actúan sobre el asfalto.

Con los factores de agresividad se presentan diversas comparaciones de los efectos que provocan estos sobre las capas asfálticas con los diversos escenarios seleccionados, después se presenta agresividad de la corriente de tráfico a lo largo del periodo de dimensionamiento.

Se muestra el daño sobre los pavimentos para varios escenarios de espesores de capa asfáltica y temperaturas de ambiente y finalmente se muestra el número de ejes equivalentes de 80 kN para un periodo de dimensionamiento de 20 años.

### **4.1 Definición de Escenarios a Analizar**

---

Para el correcto desenvolvimiento de esta tesis y un correcto entendimiento de los fenómenos ocurridos en las carreteras de Ecuador fue necesario crear varios escenarios de simulación y por ende de cálculo, los escenarios utilizados fueron los siguientes:

#### **1. Tres velocidades para tres pendientes diferentes:**

- 70 km/h = 0 % de pendiente
- 50 km/h = 5 % de pendiente
- 30 km/h = 10 % de pendiente

#### **2. Tres tipos de carga como se vio con anterioridad**

- Permitida: (Ministerio de transporte y obras públicas, NEVI-12)
- Hallada: (peso excesivo con el que generalmente circulan muchos vehículos en Ecuador)
- Vacíos

#### **3. Dos rugosidades diferentes:**

- Alta rugosidad (RA): IRI = 5 m/km
- Baja rugosidad (RB): IRI = 0,75 m/km

#### **4. Dos trazados geométricos de la vía**

- Perfil recto
- Perfil con curva

Todos estos escenarios sumados a los 5 tipos de vehículos utilizados para los cálculos de la presente investigación, suman un total de 180 simulaciones diferentes que

debieron realizarse en el software TruckSim, además de 8 simulaciones extra que se hicieron para las volquetas de dos ejes V2DB, con la finalidad de mejorar la comparación de los resultados, lo que da un total de 188 simulaciones necesarias para estipular valores lo más cercano a la realidad y poder tener mayor rango de datos a analizar.

## **4.2 Simulación de Cargas**

---

La simulación de las cargas ejercidas por los vehículos fue realizada en el software TruckSim ya mencionada en el capítulo 3 junto con cada uno de los escenarios mencionado también en el capítulo 4.1 con lo que se obtuvieron descargas por ejes como los mostrados en la siguiente *Tabla 4.1*:

**Tabla 4.1: Descarga dinámica por eje para cada escenario y vehículo tipo: Volqueta de dos ejes (V2DB) en kN**

Vehículo	Carga	Velocidad	Irregularidad	Curva (Si/No)	Eje 1	Eje 2	Total	
Volqueta 2 ejes V2DB	Permitida	70-0%	Alta	Si	116,7	131,2	247,93	
				No	87,8	107,1	194,9	
			Baja	Si	112,1	120,3	232,4	
				No	83,6	96,9	180,5	
		30-0%	Alta	Si	92,6	106,9	199,5	
				No	86,9	102,2	189,05	
			Baja	Si	89,7	99,7	189,4	
				No	83,6	95,1	178,7	
		50	Alta	Si	79,5	96,3	175,8	
				No	84,6	107,5	192,1	
			Baja	Si	79,5	96,3	175,8	
				No	80,8	98,7	179,5	
		70-10%	Alta	Si	88,0	108,4	196,4	
				No	80,1	111,8	191,9	
			Baja	Si	85,6	102,7	188,3	
				No	77	100,7	177,7	
		30-10%	Alta	Si	89,1	111,2	200,3	
				No	79,7	108,1	187,8	
			Baja	Si	85,56	104,1	189,66	
				No	76,2	101	177,2	
		Hallada (medida)	70	Alta	Si	103,7	138,5	242,2
					No	106,3	149,7	256,0
				Baja	Si	103,7	138,5	242,2
					No	102,1	140,3	242,4
	50		Alta	Si	98,3	141,8	240,1	
				No	101,9	150,9	252,8	
			Baja	Si	98,3	141,8	240,1	
				No	98,3	142,5	240,8	
	30		Alta	Si	97,5	72,92	170,42	
				No	95,1	151,9	247,0	
			Baja	Si	97,5	72,92	170,42	
				No	91,9	145,7	237,6	
	Vacío	70	Alta	Si	65,7	39,8	105,5	
				No	57,4	35,6	93,0	
			Baja	Si	61,1	28,8	89,9	
				No	53,0	24,1	77,1	
		50	Alta	Si	58,2	36,1	94,3	
				No	55,7	34,2	89,9	
			Baja	Si	54,4	26,4	80,8	
				No	51,7	24,3	76,0	
		30	Alta	Si	52,1	31,0	83,1	
				No	47,9	31,4	79,3	
			Baja	Si	48,7	23,9	72,6	
				No	50,5	24,1	74,6	

Estos cálculos fueron realizados para cada tipo de vehículo y cada eje en los diversos escenarios estudiados, obteniendo un total de 180 simulaciones como se mencionó antes, los valores para los demás vehículos se encuentran en el anexo 2 en la **Tabla 7.2**,

**Tabla 7.3,**

**Tabla 7.4 y**

**Tabla 7.5**

#### **4.3 Cálculo de la Agresividad**

---

La agresividad como lo hablamos con anterioridad permite calcular el daño que provoca cualquier vehículo determinado con cualquier carga determinada por cada eje, transformado a un eje de carga equivalente el cual para nuestro caso es de 80 kN.

Una vez determinados todos los parámetros de carga dinámica que cada vehículo descarga hacia el pavimento se puede calcular la agresividad y el respectivo daño, en nuestro caso utilizamos la ley de la cuarta potencia ya expuesta en el capítulo 2.

En Ecuador se utilizan tablas para interpolar estos daños según las cargas que tengamos, además se aplican factores de importancia según el tipo de vía y para espesores de asfalto determinados (3", 4", 5" y 6"), a diferencia del método que utilizamos en Portugal que es más eficiente aunque más analítico, ya que permite determinar minuciosamente para cada situación que escojamos, como por ejemplo los espesores de la

capa asfáltica, no divide los ejes por simples tándem o trídem sino que los analiza individualmente obteniendo datos más precisos.

A continuación en la **Tabla 4.2** se mostraran ejemplos de las agresividades obtenidas en el cálculo para efecto de comparación entre los más relevantes de este estudio están las agresividades obtenidas por las volquetas de 2 ejes V2DB presentados a continuación:

**Tabla 4.2: Agresividades para los varios escenarios de la volqueta de 2 ejes V2DB.**

Carga	Velocidad	Irregularidad	Curva (Si/No)	Total (kN)	Total (Ton)	Ley de la cuarta Potencia
Permitida	70-0%	Alta	Si	247.93	<b>28.1</b>	<b>11.8</b>
			No	194.9	<b>22.1</b>	<b>4.7</b>
		Baja	Si	232.4	<b>26.4</b>	<b>9.0</b>
			No	180.5	<b>20.5</b>	<b>3.3</b>
	30-0%	Alta	Si	199.5	<b>22.6</b>	<b>5.0</b>
			No	189.05	<b>21.5</b>	<b>4.1</b>
		Baja	Si	189.4	<b>21.5</b>	<b>4.0</b>
			No	178.7	<b>20.3</b>	<b>3.2</b>
	50	Alta	Si	175.8	<b>20.0</b>	<b>3.1</b>
			No	192.1	<b>21.8</b>	<b>4.5</b>
		Baja	Si	175.8	<b>20.0</b>	<b>3.1</b>
			No	179.5	<b>20.4</b>	<b>3.4</b>
	70-10%	Alta	Si	196.4	<b>22.3</b>	<b>4.8</b>
			No	191.9	<b>21.8</b>	<b>4.8</b>
Baja		Si	188.3	<b>21.4</b>	<b>4.0</b>	

	30-10%	Alta	No	177.7	<b>20.2</b>	<b>3.4</b>
			Si	200.3	<b>22.7</b>	<b>5.3</b>
		Baja	Si	189.66	<b>21.5</b>	<b>4.2</b>
			No	177.2	<b>20.1</b>	<b>3.4</b>
Hallada (medida)	70	Alta	Si	242.2	<b>27.5</b>	<b>11.8</b>
			No	256	<b>29.1</b>	<b>15.4</b>
		Baja	Si	242.2	<b>27.5</b>	<b>11.8</b>
			No	242.4	<b>27.5</b>	<b>12.1</b>
	50	Alta	Si	240.1	<b>27.3</b>	<b>12.2</b>
			No	252.8	<b>28.7</b>	<b>15.3</b>
		Baja	Si	240.1	<b>27.3</b>	<b>12.2</b>
			No	240.8	<b>27.3</b>	<b>12.3</b>
	30	Alta	Si	170.42	<b>19.3</b>	<b>2.9</b>
			No	247	<b>28.0</b>	<b>15.0</b>
		Baja	Si	170.42	<b>19.3</b>	<b>2.9</b>
			No	237.6	<b>27.0</b>	<b>12.7</b>
Vacío	70	Alta	Si	105.5	<b>12.0</b>	<b>0.5</b>
			No	93	<b>10.6</b>	<b>0.3</b>
		Baja	Si	89.9	<b>10.2</b>	<b>0.4</b>
			No	77.1	<b>8.8</b>	<b>0.2</b>
	50	Alta	Si	94.3	<b>10.7</b>	<b>0.3</b>
			No	89.9	<b>10.2</b>	<b>0.3</b>
		Baja	Si	80.8	<b>9.2</b>	<b>0.2</b>
			No	76	<b>8.6</b>	<b>0.2</b>
	30	Alta	Si	83.1	<b>9.4</b>	<b>0.2</b>
			No	79.3	<b>9.0</b>	<b>0.2</b>
		Baja	Si	72.6	<b>8.2</b>	<b>0.1</b>
			No	74.6	<b>8.5</b>	<b>0.2</b>

Los valores para la agresividad de los otros cuatro vehículos están en el anexo 3 en la **Tabla 7.6,**

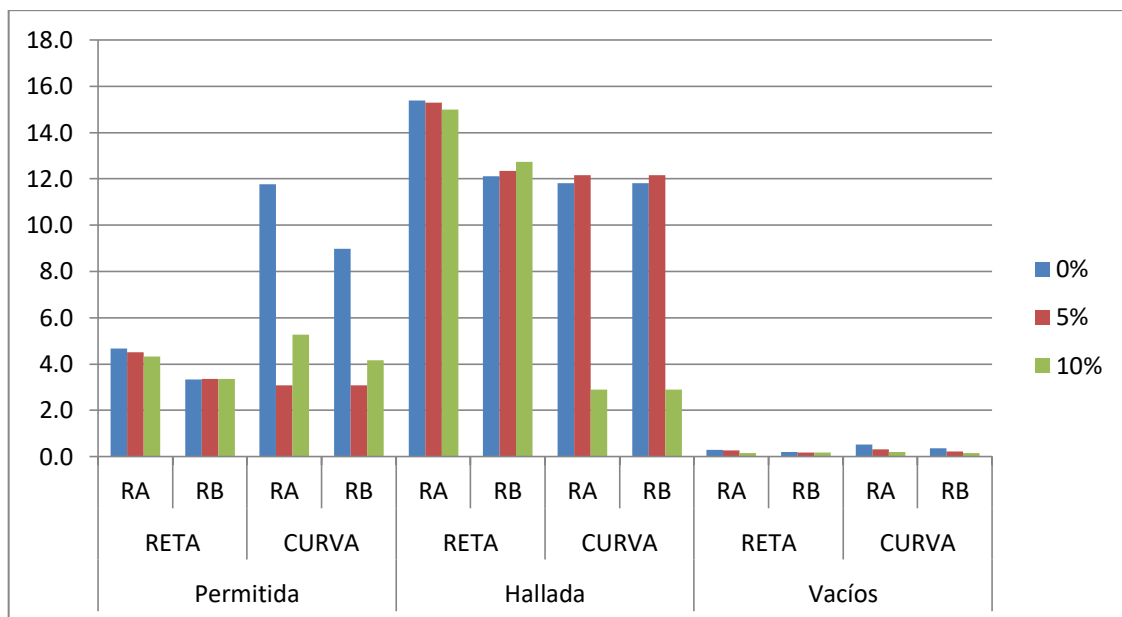
**Tabla 7.7,**

*Tabla 7.8 y*

*Tabla 7.9.*

#### 4.4 Comparación de los Efectos del trazado General en la Agresividad

Los valores mostrados en la *Tabla 4.2* revelan desde ya datos muy relevantes de como varían los daños producidos por un mismo vehículo cambiando valores como la rugosidad, la velocidad, las características geométricas del trazado de la vía, entre otros, pero para entender mejor estos datos se presentan gráficos de barras en la *Figura 4.1* divididos por escenarios pudiéndose observar así de mejor manera el fenómeno ocurrido con las agresividades.



**Figura 4.1: Comparativa de Agresividades entre los varios escenarios de simulación para vehículo V2DB**

La *Figura 4.1* nos muestra de manera evidente como las agresividades son mayores conforme la velocidad de circulación es mayor, esto debido a que la descarga dinámica

incrementa conforme se incrementa la velocidad, en este ejemplo se evidencia una reducción del 57,6% en el daño provocado por este vehículo cuando la velocidad disminuye de 70 km/h a 30 km/h manteniendo el mismo índice de rugosidad y la misma pendiente longitudinal. El otro factor relevante en este gráfico es la reducción en la agresividad del vehículo cuando se reduce el índice de rugosidad, en este caso se observa una reducción del daño en un 23,8% cuando se cambia de un índice IRI=5 m/km a un índice IRI=0,75 m/km para una velocidad de circulación de 70 km/h y una pendiente longitudinal del 0%, y para el caso de una velocidad de 30 km/h y pendiente de 0% se reduce el daño en un 19,9% cuando se pasa de un IRI alto a un IRI bajo.

La **Figura 4.1** también nos muestra la diferencia entre las agresividades causadas por el vehículo cuando se altera la pendiente longitudinal de la vía, donde evidenciamos un incremento de la agresividad transmitida al asfalto cuando se pasa de una pendiente longitudinal del 0% al 10% igual al 2,1% para una velocidad de 70 km/h y un daño igual al 4,7% para una velocidad de 30 km/h.

El gráfico de barras citado en la **Figura 4.1** nos deja evidenciar la diferencia de agresividades que transfiere el vehículo hacia el asfalto, cuando el vehículo transita sobre una vía recta y cuando el vehículo transita sobre una vía sinuosa con radios promedios entre (180 y 250) metros, en este marco también observamos diferencias interesantes, por ejemplo la diferencia más relevante se nota cuando el vehículo circula a 70 km/h con pendiente 0% y pasa de una vía recta a una curva, en este caso existe un porcentaje de incremento en el daño del 252% siendo la velocidad un factor exponencial en el daño, en carreteras con curvas, para el caso de velocidades de 70 km/h y pendiente del 10% no se aprecia ninguna diferencia debido a que en el software TruckSim durante la simulación, el vehículo a estas velocidades y cargado no lograba subir la pendiente tanto para la vía recta como la vía sinuosa y provocaba una desaceleración disminuyendo la velocidad de circulación, algo que sucede de verdad en un caso real por lo que las velocidades se equilibran en un punto al igual que la agresividad.

Las demás comparaciones son menos relevantes debido a la baja velocidad, para el caso de 30 km/h y 0% de pendiente longitudinal y pasa de una vía recta a una curva se aprecia un incremento de daño del 23%, es decir que de igual manera que lo expresado con anterioridad el cambio en el trazado longitudinal de una carretera también provoca daños severos a la carpeta asfáltica.

En las agresividades mostradas también en la figura antes mencionada es más evidente y por lógica debe ser así ya que estas están comparadas directamente por el peso con el que transita el vehículo y este es el factor más relevante al momento del cálculo de daño, es así que el porcentaje de diferencia generado entre el vehículo circulando a 70 km/h con exceso de carga y el cargado con el peso estipulado por las NEVI-12 es del 327% lo que es una diferencia bastante alta en la agresividad provocada por los vehículos que circulan con exceso de carga en Ecuador, en tanto la diferencia de agresividad entre el vehículo que circula con el peso máximo estipulado por las NEVI-12 y el vehículo que circula vacío es también bastante alta como se puede observar, es así que la carga pasa a ser el escenario principal al momento del diseño estructural del asfalto ya que la correcta estimativa de estos valores puede asegurar el correcto funcionamiento del mismo a lo largo de su periodo de vida útil.

#### **4.5 Agresividad de una Corriente de Tráfico Real a lo Largo del Período de Dimensionamiento**

Hasta ahora fueron presentadas agresividades individuales de vehículos cargados con diferentes pesos (MOPT, Hallado y Vacíos) y al circular en diferentes trazados de vía (curva/recta, RA/RB, diferentes pendientes) a diferentes velocidades (30, 50 y 70 km/h). La agresividad de la corriente de tráfico depende de los vehículos que la circulan, tipo, número y carga transportada durante el periodo de dimensionamiento. Siendo así es necesario definir la composición de la corriente de tráfico. Fueron consideradas 3 corrientes de tráfico, una próxima de la real, una sin vehículos sobrecargados y una que tenga que simular la máxima eficiencia, esto es, todos los vehículos circulan con la carga máxima permitida

- **Corriente 1** = Próxima a la real, es decir, TPGA promedio de la **Tabla 3.6** con los porcentajes de vehículos estudiados mostrados en la **Tabla 3.9**
- **Corriente 2** = Corriente que considera que ningún vehículo circula con carga excesiva, es decir, todo el porcentaje de vehículo que circula con exceso de carga es sumado a los vehículos que circulan con la carga máxima permitida por las NEVI-12.
- **Corriente 3** = Máxima eficiencia, Corriente que considera que todos los vehículos circulan completamente llenos con la carga máxima permitida por las normas NEVI-12, esta situación es la aplicada en Ecuador para el cálculo del daño FC (factor camión).

Una vez definidas las corrientes, se calcularon las agresividades para diferentes escenarios:

- **Escenario 1 = R0A:** Reta + 0% (70 km/h)+Rugosidad alta

- **Escenario 2 = R0B:** Reta + 0% (70 km/h)+Rugosidad baja
- **Escenario 3 = R5A:** Reta + 5% (50 km/h)+Rugosidad alta
- **Escenario 4 = R5B:** Reta + 5% (50 km/h)+Rugosidad baja
- **Escenario 5 = C5A:** Curva + 5% (50 km/h)+Rugosidad alta
- **Escenario 6 = C5B:** Curva + 5% (50 km/h)+Rugosidad baja
- **Escenario 7 = C10A:** Curva + 10% (30 km/h)+Rugosidad alta
- **Escenario 8 = C10B:** Curva + 10% (30 km/h)+Rugosidad baja

Las agresividades de las diversas corrientes de tráfico que se utilizaron en esta investigación quedan resumidas en las siguientes tablas:

**Tabla 4.3: Resumen de agresividades para la corriente de tráfico tipo 1**

Velocidad - Pendiente	Rugosidad	Curva	Recta
70 km-0%	Alta	-	7,4
	Baja	-	5,5
50 km-5%	Alta	5,6	7,2
	Baja	5,6	5,6
30 km-10%	Alta	4,4	-
	Baja	4,3	-

**Tabla 4.4: Resumen de agresividades para la corriente de tráfico tipo 2**

Velocidad - Pendiente	Rugosidad	Curva	Recta
70 km-0%	Alta	-	4,8
	Baja	-	3,5
50 km-5%	Alta	3,6	4,7
	Baja	3,5	3,6
30 km-10%	Alta	4,1	-
	Baja	3,8	-

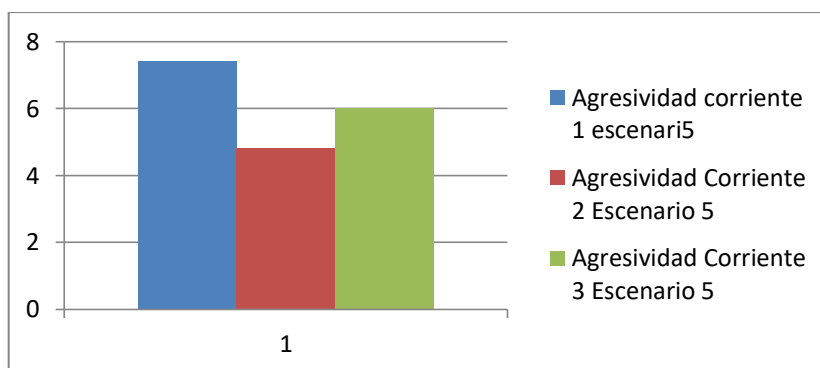
**Tabla 4.5: Resumen de agresividades para la corriente de tráfico tipo 3**

Velocidad - Pendiente	Rugosidad	Curva	Recta
70 km-0%	Alta	-	6,0
	Baja	-	4,3
50 km-5%	Alta	4,3	5,8
	Baja	4,3	4,4
30 km-10%	Alta	5,2	-
	Baja	4,8	-

Analizando los resultados de las tablas anteriores se vuelve a evidenciar la reducción en la agresividad al reducir la rugosidad de la vía, pero el punto más importante a destacar es la relevancia que toma el daño sobre el asfalto cuando se toma en consideración la

diversificación de cargamentos con los que circulan los vehículos sobre una vía en estudio, es decir la importancia de determinar el correcto porcentaje de cargamentos de circulación.

Ahora evidenciaremos de forma gráfica en la **Figura 4.2** la diferencia de daños al cambiar los escenarios de corriente de circulación para un mismo tipo de vehículo, escenario de trazado y velocidad de circulación.



**Figura 4.2: agresividades de las corrientes 1, 2 y 3 para el escenario 1**

Con lo mostrado en la **Figura 4.2** es evidente la importancia de la correcta estimación de los porcentajes de vehículo que circulan llenos (carga MOPT), vacíos y con excesos de carga, ya que así estaríamos seguros de que el diseño estructural de la carpeta asfáltica está perfectamente estimado evitando de cualquier manera diseños poco eficientes o diseños con estructuras exageradas, por ejemplo si relacionamos la diferencia de daños entre la corriente tipo 2 y tipo 3, obtenemos una reducción del daño del 20% cuando se contabilizan los vehículos vacíos y los que circulan llenos, cuando se los compara con una corriente de vehículos que se asume que circulan todos completamente llenos.

La comparación entre una corriente de tráfico para el caso de Ecuador donde existe una costumbre muy frecuente de los transportistas en especial los de carga pesada es aún más sorprendente ya que refleja factores de agresividad mucho más elevados, lo que debe obligarnos en nuestro medio a ser más minuciosos al momento de seleccionar las cargas en los vehículos durante un diseño de estructura vial. Esto podemos comprobarlo con los valores señalados en la **Figura 4.2** donde podemos observar un aumento en el porcentaje de daño del 54% cuando comparamos una corriente de tráfico normal entre vehículos vacíos y vehículos con la carga máxima estipulada, con una corriente típica de Ecuador donde circulan vehículos con exceso de carga, vacíos y vehículos con el peso normado, lo cual representa casos verdaderos. Ahora si comparamos el valor de la corriente de vehículos que incluyen exceso de cargas con una corriente donde se asume que todos los vehículos circulan con la carga máxima estipulada por las normas (caso utilizado en el

diseño de estructura de asfalto en Ecuador) aun así se evidencia un aumento en el porcentaje de agresividad del 23,33%.

Esto da a notar con claridad que aun asumiendo un escenario irreal donde se coloca la circulación de todo un flujo vehicular con el peso máximo normado no es suficiente para reflejar el daño real que ocurre cuando se toma un escenario de circulación vehicular donde se contabilizan todos los vehículos vacíos, llenos y con carga excesiva.

#### **4.6 Daño**

---

Para la determinación del daño sobre las carpetas asfálticas es necesario comparar:

1- El número de ejes equivalentes que descargan a la estructura, este valor depende del TPDA, de la tasa anual de crecimiento y de la agresividad del tráfico.

2- El número de ejes equivalentes que la estructura aguanta, este valor depende de la estructura del pavimento (dimensiones y características de los materiales) y de su localización (temperatura de diseño).

Los valores necesarios para calcular el número de ejes equivalentes que descargan a la estructura fueron ya referidos en las secciones anteriores. Para el cálculo del segundo valor, número de ejes equivalentes que la estructura aguanta, es necesario definir la estructura del pavimento y su localización, ya que su desempeño depende de la temperatura ambiente. De modo a tornar el análisis lo más abarcador posible son consideradas dos estructuras, una delgada y una espesa, y dos climas, uno con temperaturas altas y otro con temperaturas bajas.

##### **4.6.1 Definición de las estructuras de pavimento y temperaturas de diseño**

---

Para la determinación de los módulos de deformabilidad aplicados en la presente investigación se escogió la temperatura media de dos ciudades con climas diferentes de Ecuador, una de temperatura alta y una de temperatura baja; para interés propio y por ser la ciudad donde se realizó la investigación y medición de la mayoría de los datos aplicados en esta tesis se eligió para la temperatura alta (TA) la ciudad de Portoviejo y la ciudad de Tulcán por ser la que registra las temperaturas medias más bajas (TB) del país (Leiva, 2004). Junto a esto se consideraron dos estructuras de capas asfálticas para realizar comparaciones que permitan un mejor entendimiento de los fenómenos ocurridos en esta investigación una estructura espesa de 26 cm y una estructura delgada de 18 cm:

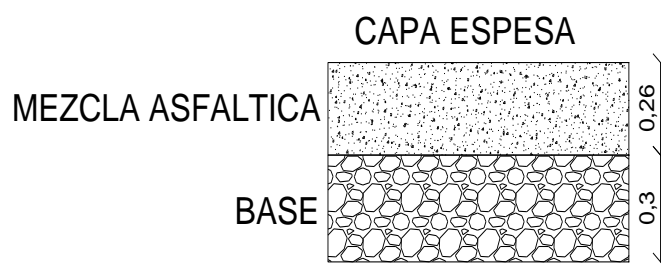


Figura 4.3: Esquema de estructura de mezcla asfáltica de capa espesa

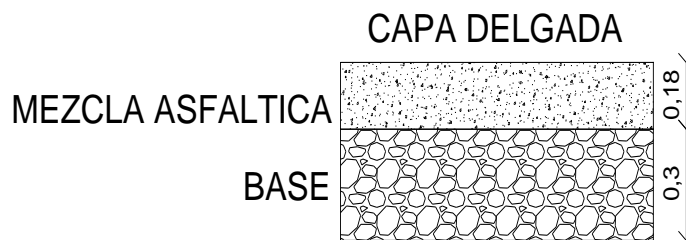


Figura 4.4: Esquema de estructura de mezcla asfáltica de capa delgada

### **Determinación de las temperaturas de diseño del módulo de deformabilidad.**

En las condiciones climáticas se debe tener en cuenta la abundancia de las precipitaciones y los drenajes dispuestos para la vía, los ciclos estacionarios y los valores extremos de la temperatura, particularmente en las calzadas tratadas con ligantes hidráulicos en donde la durabilidad y la deformabilidad dependen de la temperatura, de la resistencia del suelo soporte y del estado hídrico de la sub-rasante (Reyes, 2011).

Para ambas ciudades, Portoviejo y Tulcán, se colocaron las temperaturas medias mensuales para los doce meses del año las cuales fueron retiradas de la página (CLIMATE-DATA).

Con las temperaturas medias anuales debe determinarse la temperatura promedio anual de la capa bituminosa (temperatura de servicio) AATB a la mitad del espesor, que para nuestro caso de estudio fueron escogidos dos espesores de capa asfáltica:

- Capa espesa = 26 cm
- Capa delgada = 18 cm

Por lo tanto las temperaturas medias de las capas asfálticas quedan definidas de la siguiente manera:

Tabla 4.6: Temperatura media anual AATB a la mitad del espesor de una capa asfáltica de 26 cm y 18 cm para Portoviejo

AATB HALF THICKNESS TEMP PORTOVIEJO		
ESPEURA	180 mm	260 mm
HALF	90 mm	130 mm
AATB =	23,8 °C	23,4 °C

**Tabla 4.7: Temperatura media anual AATB a la mitad del espesor de una capa asfáltica de 26 cm y 18 cm para Tulcán**

AATB HALF THICKNESS TEMP TULCAN		
ESPEURA	180 mm	260 mm
HALF	90 mm	130 mm
AATB =	17,3 °C	17,0 °C

**Determinación del módulo de deformabilidad para los diversos escenarios.**

La determinación de los módulos de deformabilidad para los diversos escenarios se lo realizo mediante el método analítico, para esto también se eligió un grado de penetración del betún diferente para cada temperatura media de la capara asfáltica quedando definidas de la siguiente manera:

**Tabla 4.8: Grado de penetración para cada las ciudades escogidas**

CIUDAD	TEMPERATURA	GRADO DE PENETRACION
PORTOVIEJO	TEMP ALTA	30/40
TULCAN	TEMP BAJA	60/70

A continuación se muestra en la *Tabla 4.9* y la *Tabla 4.10*, la forma en que se calculó el módulo de deformabilidad de las capas asfálticas gruesa y delgada para velocidades de 70 km/h en ambas ciudades de estudio que representan una temperatura baja y una temperatura alta de diseño, esta diferenciación de cada escenario en los módulos nos permitirá apreciar de forma clara el comportamiento de las capas asfálticas ante una corriente de trafico frente a temperaturas diferentes, lo que también permitirá dar conclusiones sobre el periodo de vida útil en relación a esta hipótesis planteadas al momento del cálculo del número de ejes equivalentes  $N_{80}$ .

**Tabla 4.9: Módulo de deformabilidad para estructura de capa delgada a 70 km/h para Portoviejo y Tulcán**

ESTRUCTURA DELGADA			
TEMP PORTOVIEJO		TEMP TULCAN	
tc 70=	0,014285714	tc 70=	0,014285714
VT=	70 km/h	VT=	70 km/h
vb=	12 %	vb=	12 %
n=	4 %	n=	4 %
va=-	84 %	va=-	84 %
SM108=	9,983576	SM108=	9,983576
S68=	0,670766673	S68=	0,670766673
SM3109=	10,59633333	SM3109=	10,59633333
S89=	0,464611968	S89=	0,464611968
Pen grade	30/40	Pen grade	60/70
PEN25=	35	PEN25=	65
PEN25,=	22,75	PEN25,=	42,25

TAB <sub>r</sub> =	63,37354008	TAB <sub>r</sub> =	56,2894661
TAB <sub>r</sub> -T	39,605	TAB <sub>r</sub> -T	39,031
IP=	-0,04831228	IP=	-0,135024421
SB=	56,5020422	SB=	57,27876458
A=	9,817268891	A=	9,8212462
B=	10,06070594	B=	10,06254704
E70ta=	6,57E+09 Pa	E70tb=	6,63E+09 Pa

**Tabla 4.10: Módulo de deformabilidad para estructura de capa Espesa a 70 km/h para Portoviejo y Tulcán**

ESTRUCTURA ESPESA			
TEMP PORTOVIEJO		TEMP TULCAN	
tc 70=	0,014285714	tc 70=	0,014285714
VT=	70 km/h	VT=	70 km/h
vb=	12 %	vb=	12 %
n=	4 %	n=	4 %
va=-	84 %	va=-	84 %
SM108=	9,983576	SM108=	9,983576
S68=	0,670766673	S68=	0,670766673
SM3109=	10,59633333	SM3109=	10,59633333
S89=	0,464611968	S89=	0,464611968
Pen grade	30/40	Pen grade	60/70
PEN25=	35	PEN25=	65
PEN25 <sub>r</sub> =	22,75	PEN25 <sub>r</sub> =	42,25
TAB <sub>r</sub> =	63,37354008	TAB <sub>r</sub> =	56,2894661
TAB <sub>r</sub> -T	39,988	TAB <sub>r</sub> -T	39,265
IP=	-0,04831228	IP=	-0,135024421
SB=	59,28415496	SB=	59,01702764
A=	9,831270803	A=	9,829955227
B=	10,06718743	B=	10,06657845
E70ta=	6,78E+09 Pa	E70tb=	6,76E+09 Pa

Este proceso es repetitivo para los demás escenarios propuestos para el cálculo del módulo de deformabilidad y las demás tablas se encuentran en el anexo 6, estos escenarios fueron definidos de la siguiente manera para cada espesor de capa asfáltica (gruesa 26 cm y delgada 18 cm):

- 1). E70ta = Módulo de deformabilidad a 70 km/h para temperatura Alta.
- 2). E70tb = Módulo de deformabilidad a 70 km/h para temperatura Baja.
- 3). E50ta = Módulo de deformabilidad a 50 km/h para temperatura Alta.
- 4). E50tb = Módulo de deformabilidad a 50 km/h para temperatura Baja.
- 5). E30ta = Módulo de deformabilidad a 30 km/h para temperatura Alta.
- 6). E30tb = Módulo de deformabilidad a 30 km/h para temperatura Baja.

#### 4.6.2 Número de pesados para un periodo de diseño de 20 años

Para la determinación del número de ejes equivalentes que la estructura soporta es necesario determinar las deformaciones tanto permanentes como la fatiga sobre el asfalto

debidas a la aplicación de un eje-padrón de 80 kN. Para determinar estas deformaciones es necesario conocer el módulo de deformabilidad que ya fue determinado en el capítulo anterior, así de esta manera se determinaron deformaciones para cada escenario y cada módulo diferente previamente determinados, estos escenarios son exactamente iguales a los referidos en el numeral 3 que suman un total de doce deformaciones y fatigas.

Así, en las siguientes tablas se muestran todos los valores calculados para el número de pesados que circulan a lo largo del periodo de vida útil (20 años) y para una tasa de crecimiento del 3%.

**Tabla 4.11: Numero de ejes equivalentes que la estructura delgada soporta**

	Estructura Delgada					
	PORTOVIEJO			TULCAN		
	30 km/h	50 km/h	70 km/h	30 km/h	50 km/h	70 km/h
Módulo (MPa)	5326	6042	6566	5501	6240	6781
N80 máximo-Fatiga	1,64E+07	1,97E+07	2,25E+07	1,66E+07	2,00E+07	2,27E+07
N80 máximo-Def-Permanente	3,26E+07	4,07E+07	4,72E+07	3,31E+07	4,13E+07	4,80E+07
	<b>1,64E+07</b>	<b>1,97E+07</b>	<b>2,25E+07</b>	<b>1,66E+07</b>	<b>2,00E+07</b>	<b>2,27E+07</b>

Considerando las agresividades de la corriente de tráfico real anteriormente presentadas (*Tabla 4.3*), un daño de 80%, una tasa de crecimiento de 3% y un periodo de 20 años, la estructura puede ser sujeta al siguiente número de vehículos pesados.

**Tabla 4.12: Numero de número de vehículos pesados que la estructura delgada soporta**

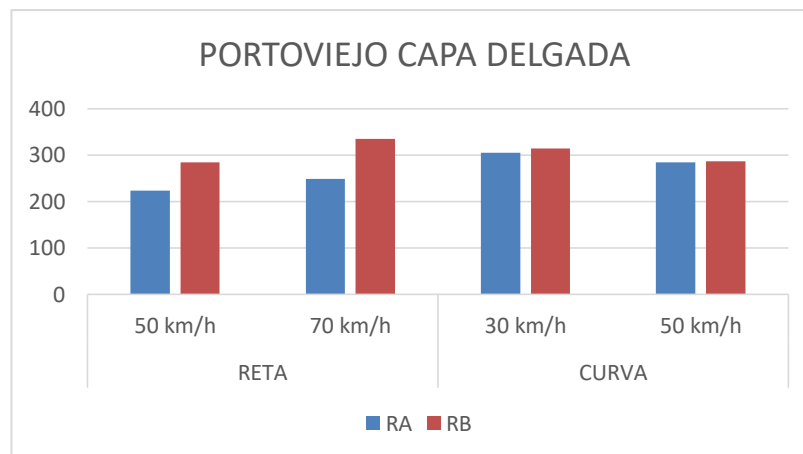
	N pesados					
Recta-RA	-	2.190.501	2.441.924	-	2.219.910	2.468.547
Recta-RB	-	2.792.440	3.284.728	-	2.829.931	3.320.541
Curva-RA	2.991.866	2.794.071	-	3.024.922	2.831.584	-
Curva-RB	3.083.610	2.809.633	-	3.117.679	2.847.355	-

Lo que corresponde a los siguientes TPDA (*Tabla 4.13*).

**Tabla 4.13: TPDA**

Recta-RA	-	223	249	-	226	252
Recta-RB	-	285	335	-	289	339
Curva-RA	305	285	-	308	289	-
Curva-RB	314	286	-	318	290	-

Estos cálculos permitieron cuantificar el efecto de la pendiente, el efecto de la irregularidad y el efecto de la curvatura de la estrada en la vida útil del pavimento como se muestra en la *Figura 4.5*.



**Figura 4.5: Comparación en la vida útil del pavimento para el efecto rugosidad, pendiente y recta – curva en Portoviejo para corriente 1 y capa delgada**

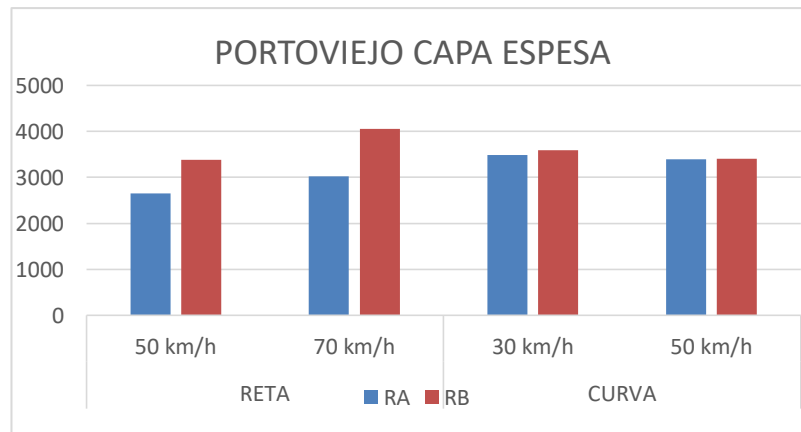
**Efecto pendiente** - Al comparar el TPDA entre las velocidades para ambos casos de temperaturas (alta y baja) se observa una disminución continua del periodo de duración del asfalto conforme se incrementan las velocidades de circulación, así por ejemplo si comparamos el TPDA a 50 km/h y el de 70 km/h para RA existe una disminución del 11% de su periodo de vida útil y un 18% para el mismo caso en RB.

**Efecto irregularidad** - La disminución del periodo de vida útil es aún más apreciable si comparamos las rugosidades a una misma velocidad siendo que, para la de 70 km/h existe una pérdida del 22% cuando se pasa de RA a RB y para la velocidad de 50km/h existe una pérdida de 26% en su periodo de duración.

**Efecto curvatura** - Ahora al poner en comparación el efecto Recta – Curva se aprecia una pérdida en el periodo de duración del 22% cuando se circula sobre vías Rectas a 70 km/h que sobre una vía curva a la misma velocidad.

Los demás valores para capa espesa y otras corrientes de circulación se encuentran en las tablas del anexo 5.

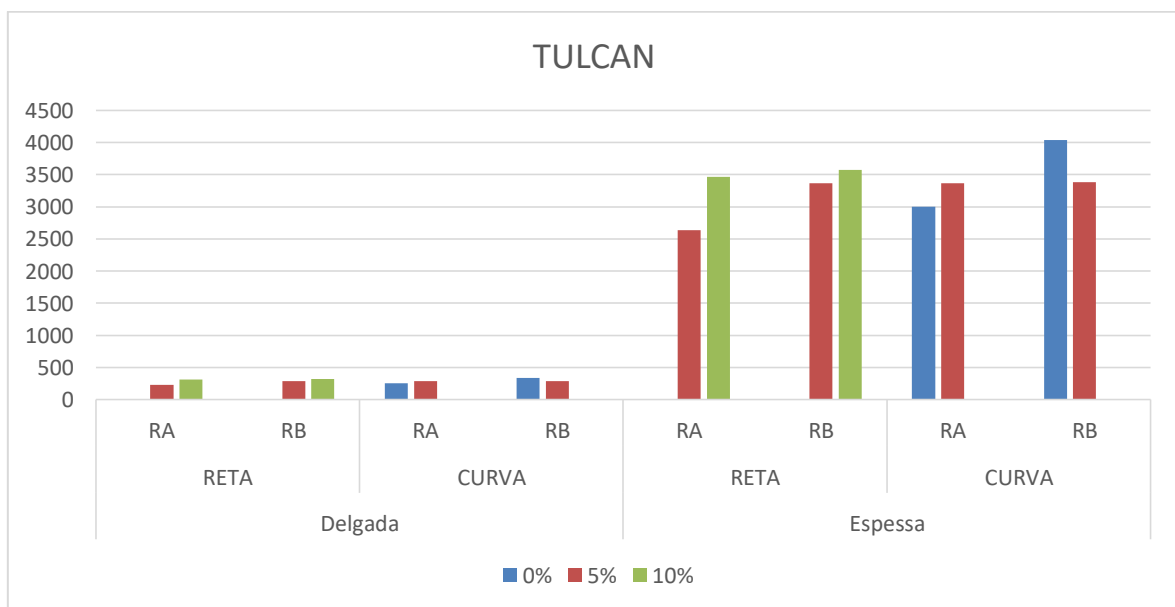
Ahora en el gráfico de barras de la **Figura 4.6** apreciamos el mismo fenómeno notado en el grafico anterior pero esta vez para la estructura de capa espesa.



**Figura 4.6:** Comparación en la vida útil del pavimento para el efecto rugosidad, pendiente y recta – curva en Portoviejo para corriente 1 y capa espesa

Los efectos del trazado y demás variables son prácticamente iguales a los señalados anteriormente para la estructura de capa delgada con una variación de  $\pm 3\%$ . Pero al comparar ahora los valores de ambas estructuras observamos un cambio bastante grande en la capacidad de soportar pesados, si comparamos el número de pasadas para una capa gruesa de asfalto a 70 km/h de circulación con la de capa delgada a la misma velocidad presenciamos una variación del 91% en el número de pasadas que pueden soportar.

Ahora se muestra en la **Figura 4.7** los efectos de los diversos escenarios de circulación para la ciudad de Tulcán, tanto para estructura delgada como espesa.



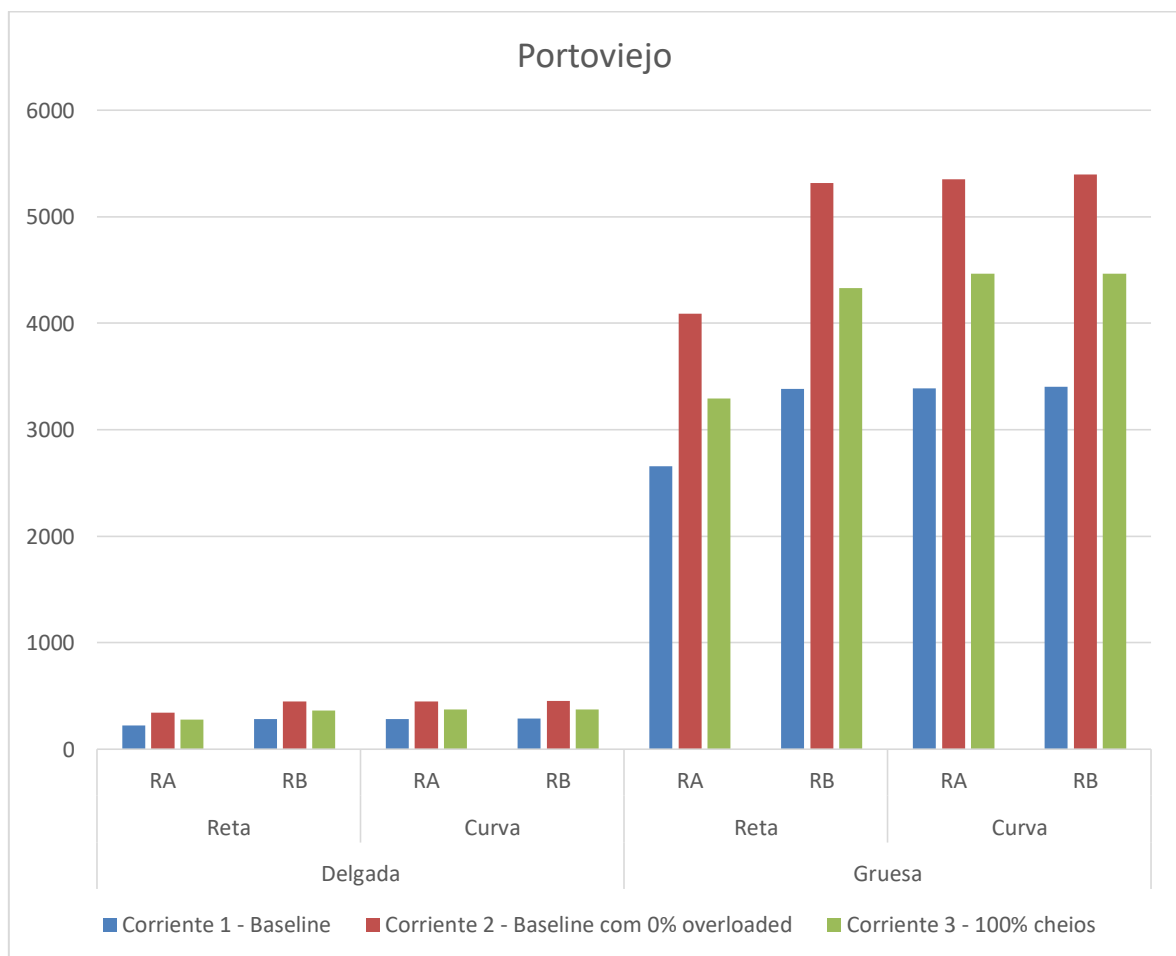
**Figura 4.7:** Comparación en la vida útil del pavimento para el efecto rugosidad, pendiente y recta – curva en Tulcán para corriente 1 (capa espesa y delgada)

Los efectos del trazado y demás variables son prácticamente iguales a los señalados anteriormente para la ciudad de Portoviejo con una variación de  $\pm 1\%$ .

Se consideró irrelevante hacer la comparación de los efectos entre ambas ciudades (ambas temperaturas) ya que su variación como se menciona es muy baja y además queda anulada al tener diferentes grados de penetración cada betún en cada temperatura.

Esta investigación se centra en el efecto que provocan los vehículos que circulan sobre las estradas nacionales con cargas excesivas, entonces ahora revisaremos cual es el efecto que estos provocan en relación al TPDA, comparándolos entre las tres corrientes de tránsito como se observa en la **Figura 4.8**.

Se tomó como referencia a los vehículos que circulan a 50 km/h (5% pendiente) ya que esta es la única variable que involucra a todas las demás variables tanto de rugosidad como trazado, entre otros y colocamos TPDA en un gráfico como el de la **Figura 4.8** podemos apreciar diferencias en la resistencia de cada corriente donde predomina la corriente que considera en su cálculo a los vehículos que circulan con carga excesiva.



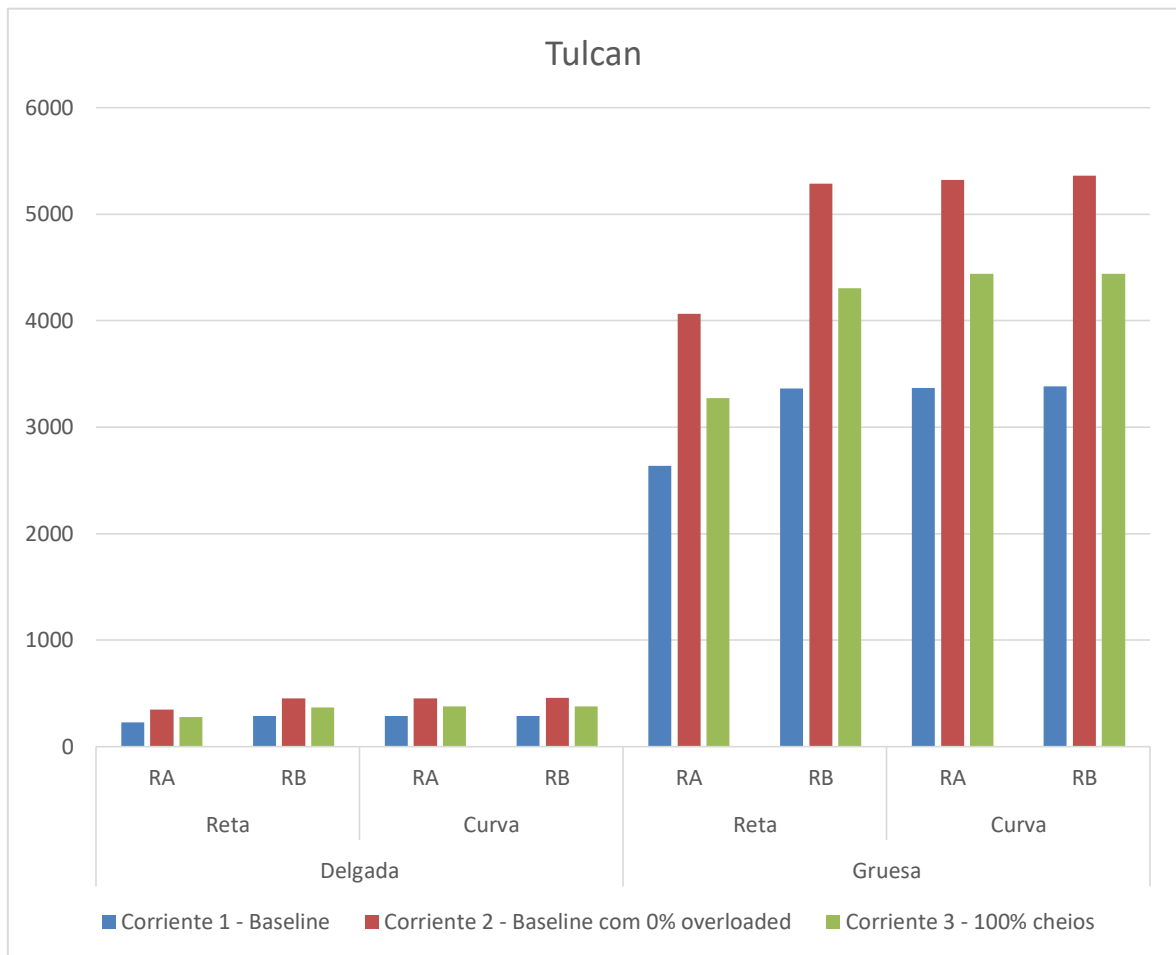
**Figura 4.8: Comparativa del TPDA para las tres corrientes de trafico al 5% de pendiente (Portoviejo)**

Dejamos atrás la comparación entre espesor de capa de mezcla asfáltica ya que esto ya fue explicado anteriormente , al comparar la corriente 1 con la corriente 2 en vías rectas

para RA, tenemos una pérdida del periodo de vida útil del 35% cabe recalcar que estos porcentajes son iguales para capa delgada como capa espesa. Si realizamos la misma comparación pero esta vez para vías curvas la pérdida de vida útil es del 36%.

Pues bien ahora al poner en comparación la corriente uno con la corriente dos bajo las mismas variables anteriormente señaladas, para vías recta el porcentaje de pérdida es del 19% y para vías curvas es del 24%.

Los valores de porcentaje de pérdida del periodo de vida útil de los pavimentos para la ciudad de Tulcán mostrados en la **Figura 4.9** resultaron exactamente iguales a los mostrados para el caso anterior de la ciudad de Portoviejo.



**Figura 4.9: Comparativa del TPDA para las tres corrientes de trafico al 5% de pendiente (Tulcán)**

Entonces sea cual sea la variable de comparación entre corrientes de trafico los valores para la pérdida de vida útil de un pavimento con vehículos que circulan con cargas en exceso en comparación con los métodos que no los consideran, fluctúan entre un mínimo del 19% y un máximo del 37%.

Cualquiera que sea el método de determinación de las cargas de una corriente vehicular, si no se toman en consideración las cargas excesivas con que circulan los vehículos se tiene como mínimo un 19% de pérdida en el periodo de vida útil estimado en el diseño, este es un porcentaje bastante alto de pérdida ya que representaría grandes pérdidas económicas tanto en reparación de capas asfálticas como en labores de mantenimiento.

## **5 Conclusiones**

---

La presente tesis de investigación logro obtener las consecuencias estructurales sobre los pavimentos rodoviarios de Ecuador mediante el cálculo de pérdida del periodo de vida útil de los pavimentos cuando los vehículos circulan con exceso de carga, se implementó el uso de un software tanto de simulación del tránsito como de cálculo de extensiones sobre el pavimento como el TruckSim y el KenPave respectivamente, analizando varios escenarios de trazado y de temperatura en la vías así como la utilización de varias hipótesis de corrientes de tránsito.

Las consecuencias de transitar con cargas excesiva resultan muy negativas para los pavimentos de la red rodoviaria de Ecuador ya que se confirmó que existe una reducción en su periodo de vida útil que varía entre el 19% y 37%, debido al incremento de daño que recibe éste al diseñar las capas asfálticas considerando el exceso de carga de los vehículos en comparación con el uso de cargas convencionales recomendadas por las normas. Esta reducción del periodo de vida útil podría significar grandes costos en mantenimiento y reparación de pavimentos al incrementarse la frecuencia de los mismos.

La implementación de un software como el TruckSim resulta muy útil para la determinación de las descargas dinámicas que recibe el asfalto ya que esto permitió obtener las cargas reales que se transmiten a la parte superior de las capas asfálticas, obteniéndose como información relevante que las cargas resultaron aún mayores que los pesos obtenidos pesando los vehículos con carga excesiva.

Al comparar la diferencia de las descargas de peso hacia los pavimentos entre vías rectas y curvas manteniendo el IRI e inclinación longitudinal constantes se confirmó que las descargas de los neumáticos son mayores en las rectas debido a que estas permiten

mayores velocidades de circulación y esto incrementa la descarga provocada por el efecto dinámico de los vehículos

La comparación de la resistencia de los asfaltos ante los escenarios de temperatura habituales en Ecuador seleccionados en esta tesis de investigación dio como comprobación que los asfaltos como ya es conocido son más resistentes en zonas donde las temperaturas son bajas dando mayores periodos de durabilidad en la ciudad más fría del país (Tulcán) a diferencia de los periodos obtenidos para las temperaturas de la ciudad de Portoviejo.

Al comparar las descargas hacia el pavimentos entre las diversas pendientes, dio como resultado que a mayores pendientes existe menor daño, esto es también debido a que a mayores pendiente menores velocidades de circulación y en esta investigación también se comprobó que a mayor velocidad existe un mayor deterioro del asfalto debido al incremento de la carga dinámica hacia el asfalto, es decir, el daño es directamente proporcional a la velocidad de circulación.

## 6 Bibliografía

---

**American Association of State Highway and Transportation Officials Executive Committee. 2008.** *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*. United States : s.n., 2008. 978-1-56051-423-7.

**Asamblea Nacional. 2017.**

*LEY ORGÁNICA DEL SISTEMA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA VIAL*. Quito : s.n., 2017.

**Bezerra, Rogério. 2004.** *Análise Comparativa de Pavimentos Dimensionados Através dos Métodos Empírico do DNER e Mecanístico e Proposta de um Catálogo Simplificado de Pavimentos para a Região de Campo Grande (MS)*. São Carlos : s.n., 2004.

**Castillo, R Camilo. 2014.** Revisión de los métodos de diseño de pavimentos flexibles “AASHTO93” y el “MODELO ELASTICO LINEAL (KENLAYER)”, mediante el modelo viscoelástico propuesto por la “ME PDG NCHRP 1-37A (3D-MOVE)”. Medellín : s.n., 2014.

**CLIMATE-DATA.** Climate-Data.org. [En línea] [Citado el: 15 de Abril de 2018.] <https://es.climate-data.org/location/2974/>. DE279133320.

—. Climate-Data.org. [En línea] [Citado el: 15 de Abril de 2018.] <https://es.climate-data.org/location/2978/>. DE279133320.

**Corredor, M Gustavo. 2010.** *Obtención y Manejo de la información de Tránsito para diseño de Pavimentos*. Managua : s.n., 2010.

**Diario el Telégrafo. 2015.** eltelegrafo. [En línea] El Telégrafo, 12 de Enero de 2015. [Citado el: 13 de Junio de 2018.] [www.entelegrafo.com.ec](http://www.entelegrafo.com.ec).

**Díaz, Jorge, y otros. 2018.** E-Doc. [En línea] 2018. [Citado el: 14 de Junio de 2018.] <https://edoc.site/fatiga-en-pavimentos-pdf-free.html>.

**E-ASPHALT. 2014.** E-ASPHALT. [En línea] 2014. [Citado el: 15 de Junio de 2018.] <http://www.e-asfalto.com/redvialecuador/>.

**Galton, F (1885a). 1885.** *Some results of the Anthropometric Laboratory.* s.l. : J. Anthropol. Inst, 1885. 16,275-287.

**Garnica, A Paul. 2015.** *Espectros de Carga y Daño para Diseño de Pavimentos.* Ciudad de Mexico : s.n., 2015.

**Garnica, Paul, Gómez, José y Sesma, Jesús. 2002.** *Mecánica de Materiales para Pavimento.* Sanfandila : s.n., 2002. 0188-7297.

**Higuera S, Carlos H. 2007.** *Leyes de Comportamiento de la Deformación radial Admisible de Tracción en pavimentos Flexibles.* Boyacá : s.n., 2007. ISSN0121-1129.

**INEC. 2011.** El Transporte Terrestre de Pasajeros en Ecuador y Quito: Perspectiva histórica y situación actual. *ecuadorencifras.* [En línea] 2011. [Citado el: 19 de Junio de 2018.] [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Estudios/Estudios\\_Economicos/Transporte\\_Quito.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Estudios/Estudios_Economicos/Transporte_Quito.pdf).

—. **2016.** Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. *Ecuadorencifras.* [En línea] 2016. [Citado el: 18 de 06 de 2018.] [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2016/2016\\_AnuarioTransportes\\_Resumen%20Metodo%20C3%B3gico.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2016/2016_AnuarioTransportes_Resumen%20Metodo%20C3%B3gico.pdf).

**Khan, Shahbaz, y otros. 2013.** *Rutting in Flexible Pavement: An Approach of Evaluation with Accelerated Pavement Testing Facility.* New Delhi : s.n., 2013.

**Kumar, Devendra y Joshi, Y. 2014.** *A Detailed Study of CBR Method for Flexible Pavement Design.* Vidisha : s.n., 2014. pág. 239. Vol. 4. 2248-9622.

**LCPC y SETRA. 1997.** *French Design Manual for Pavement Structures. Laboratoire Centrl des Ponts et Chaussées, Paris and Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes.* Bagneux : s.n., 1997.

**Leiva, F, y otros. 2017.** *Modelo de deformación permanente para la evaluación de la condición del pavimento.* 2017. págs. 37-39.

**Leiva, Fabricio. 2004.** *Modulo Dinamico de Mezclas Asfálticas*. Costa Rica : s.n., 2004.

**Leiva, V Fabricio. 2011.** *Nueva Guia de diseño Mecánica-Empírica para estructuras de pavimento*. Costa Rica : s.n., 2011.

**Microsoft. 2016.** support.office.com. [En línea] 2016. [Citado el: 21 de Junio de 2018.] <https://support.office.com/es-es/article/percentil-exc-funci%C3%B3n-percentil-exc-bbaa7204-e9e1-4010-85bf-c31dc5dce4ba>.

**Minaya, S y Ordoñez, A. 2014.** *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos. Diseño Empírico-Mecánico de Pavimentos Asfálticos*. Popayan : s.n., 2014. Vol. Capitulo 8.

**Ministerio de Transporte y Obras Públicas. 2013.** *conservacion Vial*. Quito : s.n., 2013. pág. 35.

—. **2013.** Norma Para Estudios y Diseños Viales. *NEVI-12, Volumen 2 Libro A*. Quito : s.n., 2013.

**Ministerio de Transporte y Obras Publicas. 2013.** Normas para Estudios y Diseños Viales. *NEVI-12, Volumen 2 Libro B*. Quito : s.n., 2013.

**Ministerio de Transporte y obras Publicas. 2012.** obraspublicas. [En línea] 6 de Octubre de 2012. [Citado el: 13 de Junio de 2018.] [www.obraspublicas.gob.ec](http://www.obraspublicas.gob.ec).

**Ministerio de Transporte Y Obras Públicas. 2013.** Procedimiento de Operación y Seguridad Vial. [aut. libro] Ministerio de Transporte Y Obras. *NEVI-12, Volumen 5*. Quito : s.n., 2013.

**Molina, M John J y King, L Santiago. 2015.** *Determinación de las Características de Tránsito Enmarcadas en el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), Espectro de Carga y Ancho de Vía, en las Arterias Viales Principales de Portoviejo*. Portoviejo : s.n., 2015.

**Morea, Francisco. 2011.** *DEFORMACIONES PERMANENTES EN MEZCLAS ASFÁLTICAS, Efecto de la reología de los asfáltos, la temperatura y las condiciones de carga*. La Plata : s.n., 2011.

**Reyes, L Fredy A. 2011.** *DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR METODOLOGÍA RACIONAL*. Bogota : s.n., 2011.

**Riofrío, Andres, y otros. 2014.** *Sistema de Control Antivuelco para Furgoneta Utilizando Lógica Difusa y Suspensión Activa*. Madrid : s.n., 2014.

**Tavallae, Bahareh, Picado, S Luís G y I Coelho das Neves, José M. 2016.**  
*Aplicação do Método Empírico-mecanicista da AASHTO ao dimensionamento de pavimentos em Portugal.* Lisboa : s.n., 2016.

*Esta página fue intencionalmente dejada en blanco*

## 7 Anexos

### 7.1 Anexo 1: coordenadas utilizadas para la simulación de vía curva

**Tabla 7.1: Coordenadas transversales y verticales de vía sinuosa diseñada.**

IZQUIERDA			DERECHA		
X	Y	Z	X	Y	Z
2331,47	1465,58	0	2339,47	1465,58	0
2331,47	1490,58	0	2339,47	1490,58	0
2331,47	1515,58	0	2339,47	1515,58	0
2331,47	1540,58	0	2339,47	1540,58	0
2331,47	1565,58	0	2339,47	1565,58	0
2331,47	1590,58	0	2339,47	1590,58	0
2331,47	1615,58	0	2339,47	1615,58	0
2331,47	1640,58	0	2339,47	1640,58	0
2331,47	1665,58	0	2339,47	1665,58	0
2332,95	1690,5	0,56	2341,01	1690,5	0
2336,7	1710,79	0,56	2344,47	1708,89	0
2342,46	1729,88	0,56	2349,99	1727,16	0
2352,51	1752,67	0,56	2359,6	1749,06	0
2365,58	1773,95	0,56	2372,13	1769,36	0
2381,41	1793,25	0,56	2387,24	1787,21	0
2399,69	1810,23	0,56	2404,72	1804,01	0
2420,11	1824,58	0,56	2424,25	1817,74	0
2442,27	1836,04	0,56	2445,43	1828,69	0
2465,78	1844,39	0,56	2467,89	1836,67	0
2490,27	1849,49	0,56	2491,37	1841,56	0
2513,98	1851,22	0,56	2513,95	1843,22	0
2540	1849,58	0,56	2538,94	1841,65	0
2562,39	1845,14	0,56	2560,22	1837,44	0
2586,15	1837,37	0,56	2582,94	1830,02	0
2609,72	1829,03	0	2606,51	1821,68	0
2633,29	1820,68	0	2630,08	1813,33	0
2656,85	1812,34	0	2653,64	1804,99	0
2680,42	1804	0	2677,23	1796,65	0
2703,99	1795,65	0	2700,78	1788,3	0
2727,55	1787,31	0	2724,32	1779,96	0
2751,12	1778,97	0	2747,91	1771,62	0
2774,69	1770,62	0	2771,48	1763,27	0
2798,26	1762,28	0	2795,04	1754,93	0
2821,82	1753,94	0	2818,61	1746,69	0
2845,39	1745,59	0	2842,18	1738,24	0
2868,96	1737,25	0	2865,74	1729,9	0
2892,79	1729,52	0	2889,55	1722,11	0,56
2917,63	1724,1	0	2916,33	1716,2	0,56
2941,64	1721,35	0	2941,12	1713,36	0,56
2965,82	1720,97	0	2966,08	1712,97	0,56
2989,91	1722,96	0	2990,96	1715,03	0,56
3013,72	1727,32	0	3015,54	1719,53	0,56
3036,99	1734	0	3039,57	1726,43	0,56
3059,51	1742,94	0	3062,83	1735,66	0,56
3080,38	1753,67	0	3084,38	1746,74	0,56
3101,33	1767,19	0	3106	1760,7	0,56
3120,26	1782,29	0	3125,55	1776,29	0,56
3137,58	1799,14	0	3143,43	1793,69	0,56

3153,16	1817,61	0	3159,53	1812,76	0,56
3166,87	1837,53	0	3173,67	1833,32	0,56
3178,55	1858,7	0	3185,74	1855,19	0,56
3188,11	1880,95	0	3195,61	1878,15	0,56
3195,43	1904,02	0	3203,17	1901,97	0,56
3200,44	1927,62	0	3208,34	1926,35	0,56
3202,9	1948,38	0	3210,87	1947,78	0,56

## 7.2 Anexo 2: cargas dinámicas extraídas del software TruckSim.

**Tabla 7.2: Descarga dinámica por eje para cada escenario y vehículo tipo: Bus en (kN)**

Vehículo	Carga	Velocidad	Irregularidad	Curva (Si/No)	Eje 1	Eje 2	Total
<b>Buses</b>	<b>Permitida</b>	70-0%	Alta-5	Si	60,4	122,2	182,6
				No	64,4	130,1	194,5
			Baja-0.75	Si	60,4	122,2	182,6
				No	61,0	121,8	182,8
		50-5%	Alta	Si	57,2	124,4	181,6
				No	61,1	130,6	191,7
			Baja	Si	57,2	124,4	181,6
				No	58,1	124,0	182,1
		30-10%	Alta	Si	54,4	124,8	179,2
				No	57,3	129,8	187,1
			Baja	Si	54,4	124,8	179,2
				No	54,7	125,6	180,3
	<b>Hallada (medida)</b>	70	Alta	Si	67,6	133	200,6
				No	71,3	140,3	211,6
			Baja	Si	67,6	133	200,6
				No	68,0	132,3	200,3
		50	Alta	Si	64,2	135,8	200,0
				No	67,8	140,7	208,5
			Baja	Si	64,2	135,8	200,0
				No	64,9	134,6	199,5
		30	Alta	Si	61,2	135,6	196,8
				No	63,5	140,7	204,2
			Baja	Si	61,2	135,6	196,8
				No	60,9	136,6	197,5
	<b>Vacio</b>	70	Alta	Si	57,1	126,1	183,2
				No	48,8	106,4	155,2
			Baja	Si	53,4	117,9	171,3
				No	45,2	97,9	143,1
		50	Alta	Si	48,4	112,2	160,6
				No	46,1	106,1	152,2
			Baja	Si	45,4	105,4	150,8
				No	43,1	93,4	136,5
		30	Alta	Si	41,4	101,6	143,0
				No	43,4	104,7	148,1
			Baja	Si	38,8	97,3	136,1
				No	40,8	100,2	141,0

**Tabla 7.3: Descarga dinámica por eje para cada escenario y vehículo tipo: Volqueta de tres ejes (3VA) en kN**

Vehículo	Carga	Velocidad	Irregularidad	Curva (Si/No)	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Total
Volqueta 3 ejes V3A	Permitida	70	Alta	Si	56,4	109,6	109,9	275,9
				No	65,5	132,5	132,5	330,5
			Baja	Si	56,4	109,6	109,9	275,9
				No	58,3	113,2	113,2	284,7
		50	Alta	Si	51,6	113,0	111,5	276,1
				No	59,7	128,1	128,1	315,9
			Baja	Si	51,6	113,0	111,5	276,1
				No	53,5	114,1	114,0	281,6
		30	Alta	Si	46,5	111,9	112,0	270,4
				No	53,1	119,8	118,4	291,3
			Baja	Si	46,5	111,9	112,0	270,4
				No	48,1	113,0	112,8	273,9
	Hallada	70	Alta	Si	58,3	143,1	143,4	344,8
				No	67,1	166,6	167,7	401,4
			Baja	Si	58,3	143,1	143,4	344,8
				No	59,9	146,5	146,5	352,9
		50	Alta	Si	51,8	145,2	145,3	342,3
				No	59,6	164,3	164,4	388,3
			Baja	Si	51,8	145,2	145,3	342,3
				No	53,4	147,5	147,6	348,5
		30	Alta	Si	45,5	145,1	145,2	335,8
				No	52	153,4	152,3	357,7
			Baja	Si	45,5	145,1	145,2	335,8
				No	46,7	146,8	146,7	340,2
	Vacío	70	Alta	Si	67,7	33,4	33,6	134,7
				No	60,5	29,5	28,3	118,3
			Baja	Si	60	22,6	23,2	105,8
				No	53,4	18,7	18,7	90,8
		50	Alta	Si	61,4	33,6	36,1	131,1
				No	59,2	32,5	35,6	127,3
			Baja	Si	57,6	21,6	23,1	102,3
				No	55,3	20,3	21,3	96,9
		30	Alta	Si	55,6	23,0	23,6	102,2
				No	56,9	24,0	24,3	105,2
			Baja	Si	53,1	17,8	18,6	89,5
				No	54,3	18,5	18,8	91,6

**Tabla 7.4: Descarga dinámica por eje para cada escenario y vehículo tipo: Tracto Camión 5 ejes (T3-S2) en kN**

Vehículo	Carga	Velocidad	Irregularidad	Curva (Si/No)	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	Total
<b>Tracto Camión 5 ejes T3-S2</b>	<b>Permitida</b>	70	Alta	Si	52,4	103,8	104,2	119	130	509,4
				No	57,8	114,0	116,0	129,5	129,4	546,7
			Baja	Si	52,4	103,8	104,2	119	130	509,4
				No	53,3	105,3	105,5	119,6	122,8	506,5
		50	Alta	Si	48,0	104,2	105,0	117,4	123,8	498,4
				No	52,4	112,1	112,4	127,6	128,8	533,3
			Baja	Si	48,0	104,2	105	117,4	123,8	498,4
				No	49,0	104,9	105,2	119,5	122,8	501,4
		30	Alta	Si	44,0	105,2	105,2	122,0	126,4	502,8
				No	45,9	109,5	108,9	126,3	129,8	520,4
			Baja	Si	44,0	105,2	105,2	122,0	126,4	502,8
				No	43,4	105,5	105,9	119,4	122,8	497,0
	<b>Hallada (medida)</b>	70	Alta	Si	52,4	110,8	111,2	128,0	134,6	537,0
				No	57,7	121,0	122,8	138,6	139,0	579,1
			Baja	Si	52,4	110,8	111,2	128,0	134,6	537,0
				No	53,2	112,1	112,3	128,5	132,1	538,2
		50	Alta	Si	47,6	110,4	111,2	125,8	132,6	527,6
				No	52,2	118,5	118,6	136,1	137,9	563,3
			Baja	Si	47,6	110,4	111,2	125,8	132,6	527,6
				No	48,8	111,5	111,8	128,1	131,8	532
		30	Alta	Si	44,8	115,2	115,0	133,8	138,2	547,0
				No	45,2	116,1	116,1	135	138,9	551,3
			Baja	Si	44,8	115,2	115,0	133,8	138,2	547,0
				No	42,7	112,3	112,6	127,8	131,7	527,1
	<b>Vacío</b>	70	Alta	Si	64,5	46,4	45,5	35,7	40,2	232,3
				No	58,0	40,4	38,0	34,5	33,3	204,2
			Baja	Si	59,4	36,7	37,3	27,1	30,2	190,7
				No	53,5	31,0	30,9	25,7	23,2	164,3
		50	Alta	Si	56,5	38,5	37,4	33,4	38,2	204
				No	56,1	37,2	34,7	34,6	32,7	195,3
			Baja	Si	55,0	32,6	33,5	25,0	28,5	174,6
				No	53,1	31,3	31,2	25,9	23,2	164,7
		30	Alta	Si	53,0	36,4	38,3	28,7	31,7	188,1
				No	54,4	37,6	39,0	31,5	28,6	191,1
			Baja	Si	51,7	31,1	32,3	22,3	25,2	162,6
				No	52,8	32,5	33,0	24,8	21,9	165,0

**Tabla 7.5: Descarga dinámica por eje para cada escenario y vehículo tipo: Liviano (Pick-Up) en kN**

Vehículo	Carga	Velocidad	Irregularidad	Curva (Si/No)	Eje 1	Eje 2	Total
<b>Liviano (Pick Up)</b>	<b>Permitida</b>	70	Alta	Si	17,2	29,6	46,8
				No	20,9	35,7	56,6
			Baja	Si	17,2	29,6	46,8
				No	17,9	30,8	48,7
		50	Alta	Si	16,4	30,2	46,6
				No	20,3	35,6	55,9
			Baja	Si	16,4	30,2	46,6
				No	17,5	31,4	48,9
		30	Alta	Si	15,6	30,8	46,4
				No	19,6	35,3	54,9
			Baja	Si	15,6	30,8	46,4
				No	16,8	32,0	48,8
	<b>Hallada (medida)</b>	70	Alta	Si	17,8	34,0	51,8
				No	21,5	39,8	61,3
			Baja	Si	17,8	34,0	51,8
				No	18,5	35,1	53,6
		50	Alta	Si	16,9	34,7	51,6
				No	20,8	40,1	60,9
			Baja	Si	16,9	34,7	51,6
				No	17,9	35,9	53,8
		30	Alta	Si	15,9	35,3	51,2
				No	20,0	39,9	59,9
			Baja	Si	15,9	35,3	51,2
				No	17,1	36,5	53,6
<b>Vacío</b>	70	Alta	Si	22,1	23,8	45,9	
			No	19,3	21,0	40,3	
		Baja	Si	18,1	16,0	34,1	
			No	15,8	13,8	29,6	
	50	Alta	Si	18,9	20,0	38,9	
			No	18,3	19,4	37,7	
		Baja	Si	15,9	14,3	30,2	
			No	15,3	13,6	28,9	
	30	Alta	Si	16,9	16,6	33,5	
			No	17,3	16,6	33,9	
		Baja	Si	14,5	13,1	27,6	
			No	14,9	13,2	28,1	

### 7.3 Anexo 3: agresividades individuales de los vehículos.

**Tabla 7.6: Agresividades para los varios escenarios del BUS de 2 ejes**

Carga	Velocidad	Irregularidad	Curva (Si/No)	Carga kN			Total (Ton)	Ley de la cuarta Potencia
				Eje 1	Eje 2	Total (kN)		
Permitida	70-0%	Alta-5	Si	60.4	122.2	182.6	<b>18.6</b>	<b>5.8</b>
			No	64.4	130.1	194.5	<b>19.8</b>	<b>7.4</b>
		Baja-0.75	Si	60.4	122.2	182.6	<b>18.6</b>	<b>5.8</b>
			No	61	121.8	182.8	<b>18.6</b>	<b>5.7</b>
	50-5%	Alta	Si	57.2	124.4	181.6	<b>18.5</b>	<b>6.1</b>
			No	61.1	130.6	191.7	<b>19.5</b>	<b>7.4</b>
		Baja	Si	57.2	124.4	181.6	<b>18.5</b>	<b>6.1</b>
			No	58.1	124	182.1	<b>18.6</b>	<b>6.1</b>
	30-10%	Alta	Si	54.4	124.8	179.2	<b>18.3</b>	<b>6.1</b>
			No	57.3	129.8	187.1	<b>19.1</b>	<b>7.2</b>
		Baja	Si	54.4	124.8	179.2	<b>18.3</b>	<b>6.1</b>
			No	54.7	125.6	180.3	<b>18.4</b>	<b>6.3</b>
Hallada (medida)	70	Alta	Si	67.6	133	200.6	<b>20.4</b>	<b>8.1</b>
			No	71.3	140.3	211.6	<b>21.6</b>	<b>10.1</b>
		Baja	Si	67.6	133	200.6	<b>20.4</b>	<b>8.1</b>
			No	68	132.3	200.3	<b>20.4</b>	<b>8.0</b>
	50	Alta	Si	64.2	135.8	200	<b>20.4</b>	<b>8.7</b>
			No	67.8	140.7	208.5	<b>21.3</b>	<b>10.1</b>
		Baja	Si	64.2	135.8	200	<b>20.4</b>	<b>8.7</b>
			No	64.9	134.6	199.5	<b>20.3</b>	<b>8.4</b>
	30	Alta	Si	61.2	135.6	196.8	<b>20.1</b>	<b>8.6</b>
			No	63.5	140.7	204.2	<b>20.8</b>	<b>10.0</b>
		Baja	Si	61.2	135.6	196.8	<b>20.1</b>	<b>8.6</b>
			No	60.9	136.6	197.5	<b>20.1</b>	<b>8.8</b>
Vacío	70	Alta	Si	57.1	126.1	183.2	<b>18.7</b>	<b>6.4</b>
			No	48.8	106.4	155.2	<b>15.8</b>	<b>3.3</b>
		Baja	Si	53.4	117.9	171.3	<b>17.5</b>	<b>4.9</b>
			No	45.2	97.9	143.1	<b>14.6</b>	<b>2.3</b>
	50	Alta	Si	48.4	112.2	160.6	<b>16.4</b>	<b>4.0</b>
			No	46.1	106.1	152.2	<b>15.5</b>	<b>3.2</b>
		Baja	Si	45.4	105.4	150.8	<b>15.4</b>	<b>3.1</b>
			No	43.1	93.4	136.5	<b>13.9</b>	<b>1.9</b>
	30	Alta	Si	41.4	101.6	143	<b>14.6</b>	<b>2.7</b>
			No	43.4	104.7	148.1	<b>15.1</b>	<b>3.0</b>
		Baja	Si	38.8	97.3	136.1	<b>13.9</b>	<b>2.2</b>
			No	40.8	100.2	141	<b>14.4</b>	<b>2.5</b>

**Tabla 7.7: Agresividades para los varios escenarios de la volqueta de 3 ejes V3A.**

Carga	Velocidad	Irregularidad	Curva (Si/No)	Carga kN				Total (Ton)	Ley de la cuarta Potencia
				Eje 1	Eje 2	Eje 3	Total (kN)		
Permitida	70	Alta	Si	56.4	109.6	109.9	275.9	<b>28.1</b>	<b>7.3</b>
			No	65.5	132.5	132.5	330.5	<b>33.7</b>	<b>15.5</b>
		Baja	Si	56.4	109.6	109.9	275.9	<b>28.1</b>	<b>7.3</b>
			No	58.3	113.2	113.2	284.7	<b>29.0</b>	<b>8.3</b>
	50	Alta	Si	51.6	113	111.5	276.1	<b>28.1</b>	<b>7.9</b>
			No	59.7	128.1	128.1	315.9	<b>32.2</b>	<b>13.5</b>
		Baja	Si	51.6	113	111.5	276.1	<b>28.1</b>	<b>7.9</b>
			No	53.5	114.1	114	281.6	<b>28.7</b>	<b>8.5</b>
	30	Alta	Si	46.5	111.9	112	270.4	<b>27.6</b>	<b>7.8</b>
			No	53.1	119.8	118.4	291.3	<b>29.7</b>	<b>10.0</b>
		Baja	Si	46.5	111.9	112	270.4	<b>27.6</b>	<b>7.8</b>
			No	48.1	113	112.8	273.9	<b>27.9</b>	<b>8.1</b>
Hallada (medida)	70	Alta	Si	58.3	143.1	143.4	344.8	<b>35.1</b>	<b>20.8</b>
			No	67.1	166.6	167.7	401.4	<b>40.9</b>	<b>38.6</b>
		Baja	Si	58.3	143.1	143.4	344.8	<b>35.1</b>	<b>20.8</b>
			No	59.9	146.5	146.5	352.9	<b>36.0</b>	<b>22.8</b>
	50	Alta	Si	51.8	145.2	145.3	342.3	<b>34.9</b>	<b>21.9</b>
			No	59.6	164.3	164.4	388.3	<b>39.6</b>	<b>35.9</b>
		Baja	Si	51.8	145.2	145.3	342.3	<b>34.9</b>	<b>21.9</b>
			No	53.4	147.5	147.6	348.5	<b>35.5</b>	<b>23.3</b>
	30	Alta	Si	45.5	145.1	145.2	335.8	<b>34.2</b>	<b>21.8</b>
			No	52	153.4	152.3	357.7	<b>36.5</b>	<b>26.8</b>
		Baja	Si	45.5	145.1	145.2	335.8	<b>34.2</b>	<b>21.8</b>
			No	46.7	146.8	146.7	340.2	<b>34.7</b>	<b>22.8</b>
Vacío	70	Alta	Si	67.7	33.4	33.6	134.7	<b>13.7</b>	<b>0.5</b>
			No	60.5	29.5	28.3	118.3	<b>12.1</b>	<b>0.3</b>
		Baja	Si	60	22.6	23.2	105.8	<b>10.8</b>	<b>0.3</b>
			No	53.4	18.7	18.7	90.8	<b>9.3</b>	<b>0.2</b>
	50	Alta	Si	61.4	33.6	36.1	131.1	<b>13.4</b>	<b>0.4</b>
			No	59.2	32.5	35.6	127.3	<b>13.0</b>	<b>0.3</b>
		Baja	Si	57.6	21.6	23.1	102.3	<b>10.4</b>	<b>0.3</b>
			No	55.3	20.3	21.3	96.9	<b>9.9</b>	<b>0.2</b>
	30	Alta	Si	55.6	23	23.6	102.2	<b>10.4</b>	<b>0.2</b>
			No	56.9	24	24.3	105.2	<b>10.7</b>	<b>0.3</b>
		Baja	Si	53.1	17.8	18.6	89.5	<b>9.1</b>	<b>0.2</b>
			No	54.3	18.5	18.8	91.6	<b>9.3</b>	<b>0.2</b>

**Tabla 7.8: Agresividades para los varios escenarios del Tracto Camión de 5 ejes T3-S2.**

Carga	Velocidad	Irregularidad	Curva (Si/No)	Carga kN						Total (Ton)	Ley de la cuarta Potencia
				Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	Total (kN)		
Permitida	70	Alta	Si	52.4	103.8	104.2	119	130	509.4	<b>51.9</b>	<b>17.8</b>
			No	57.8	114	116	129.5	129.4	546.7	<b>55.7</b>	<b>22.5</b>
		Baja	Si	52.4	103.8	104.2	119	130	509.4	<b>51.9</b>	<b>17.8</b>
			No	53.3	105.3	105.5	119.6	122.8	506.5	<b>51.6</b>	<b>16.8</b>
	50	Alta	Si	48	104.2	105	117.4	123.8	498.4	<b>50.8</b>	<b>16.3</b>
			No	52.4	112.1	112.4	127.6	128.8	533.3	<b>54.4</b>	<b>21.1</b>
		Baja	Si	48	104.2	105	117.4	123.8	498.4	<b>50.8</b>	<b>16.3</b>
			No	49	104.9	105.2	119.5	122.8	501.4	<b>51.1</b>	<b>16.6</b>
	30	Alta	Si	44	105.2	105.2	122	126.4	502.8	<b>51.3</b>	<b>17.7</b>
			No	45.9	109.5	108.9	126.3	129.8	520.4	<b>53.0</b>	<b>20.2</b>
		Baja	Si	44	105.2	105.2	122	126.4	502.8	<b>51.3</b>	<b>17.7</b>
			No	43.4	105.5	105.9	119.4	122.8	497	<b>50.7</b>	<b>16.7</b>
Hallada (medida)	70	Alta	Si	52.4	110.8	111.2	128	134.6	537	<b>54.7</b>	<b>22.2</b>
			No	57.7	121	122.8	138.6	139	579.1	<b>59.0</b>	<b>29.2</b>
		Baja	Si	52.4	110.8	111.2	128	134.6	537	<b>54.7</b>	<b>22.2</b>
			No	53.2	112.1	112.3	128.5	132.1	538.2	<b>54.9</b>	<b>22.0</b>
	50	Alta	Si	47.6	110.4	111.2	125.8	132.6	527.6	<b>53.8</b>	<b>21.1</b>
			No	52.2	118.5	118.6	136.1	137.9	563.3	<b>57.4</b>	<b>27.0</b>
		Baja	Si	47.6	110.4	111.2	125.8	132.6	527.6	<b>53.8</b>	<b>21.1</b>
			No	48.8	111.5	111.8	128.1	131.8	532	<b>54.2</b>	<b>21.7</b>
	30	Alta	Si	44.8	115.2	115	133.8	138.2	547	<b>55.8</b>	<b>25.4</b>
			No	45.2	116.1	116.1	135	138.9	551.3	<b>56.2</b>	<b>26.2</b>
		Baja	Si	44.8	115.2	115	133.8	138.2	547	<b>55.8</b>	<b>25.4</b>
			No	42.7	112.3	112.6	127.8	131.7	527.1	<b>53.7</b>	<b>21.7</b>
Vacío	70	Alta	Si	64.5	46.4	45.5	35.7	40.2	232.3	<b>23.7</b>	<b>0.5</b>
			No	58	40.4	38	34.5	33.3	204.2	<b>20.8</b>	<b>0.3</b>
		Baja	Si	59.4	36.7	37.3	27.1	30.2	190.7	<b>19.4</b>	<b>0.3</b>
			No	53.5	31	30.9	25.7	23.2	164.3	<b>16.7</b>	<b>0.2</b>
	50	Alta	Si	56.5	38.5	37.4	33.4	38.2	204	<b>20.8</b>	<b>0.3</b>
			No	56.1	37.2	34.7	34.6	32.7	195.3	<b>19.9</b>	<b>0.3</b>
		Baja	Si	55	32.6	33.5	25	28.5	174.6	<b>17.8</b>	<b>0.3</b>
			No	53.1	31.3	31.2	25.9	23.2	164.7	<b>16.8</b>	<b>0.2</b>
	30	Alta	Si	53	36.4	38.3	28.7	31.7	188.1	<b>19.2</b>	<b>0.2</b>
			No	54.4	37.6	39	31.5	28.6	191.1	<b>19.5</b>	<b>0.3</b>
		Baja	Si	51.7	31.1	32.3	22.3	25.2	162.6	<b>16.6</b>	<b>0.2</b>
			No	52.8	32.5	33	24.8	21.9	165	<b>16.8</b>	<b>0.2</b>

**Tabla 7.9: Agresividades para los varios escenarios del vehículo liviano Pick Up.**

Carga	Velocidad	Irregularidad	Curva (Si/No)	Carga kN			Total (Ton)	Ley de la cuarta Potencia
				Eje 1	Eje 2	Total (kN)		
Permitida	70	Alta	Si	17.2	29.6	46.8	<b>4.8</b>	<b>0.021</b>
			No	20.9	35.7	56.6	<b>5.8</b>	<b>0.044</b>
		Baja	Si	17.2	29.6	46.8	<b>4.8</b>	<b>0.021</b>
			No	17.9	30.8	48.7	<b>5.0</b>	<b>0.024</b>
	50	Alta	Si	16.4	30.2	46.6	<b>4.8</b>	<b>0.022</b>
			No	20.3	35.6	55.9	<b>5.7</b>	<b>0.043</b>
		Baja	Si	16.4	30.2	46.6	<b>4.8</b>	<b>0.022</b>
			No	17.5	31.4	48.9	<b>5.0</b>	<b>0.026</b>
	30	Alta	Si	15.6	30.8	46.4	<b>4.7</b>	<b>0.023</b>
			No	19.6	35.3	54.9	<b>5.6</b>	<b>0.042</b>
		Baja	Si	15.6	30.8	46.4	<b>4.7</b>	<b>0.023</b>
			No	16.8	32	48.8	<b>5.0</b>	<b>0.028</b>
Hallada (medida)	70	Alta	Si	17.8	34	51.8	<b>5.3</b>	<b>0.035</b>
			No	21.5	39.8	61.3	<b>6.2</b>	<b>0.066</b>
		Baja	Si	17.8	34	51.8	<b>5.3</b>	<b>0.035</b>
			No	18.5	35.1	53.6	<b>5.5</b>	<b>0.040</b>
	50	Alta	Si	16.9	34.7	51.6	<b>5.3</b>	<b>0.037</b>
			No	20.8	40.1	60.9	<b>6.2</b>	<b>0.068</b>
		Baja	Si	16.9	34.7	51.6	<b>5.3</b>	<b>0.037</b>
			No	17.9	35.9	53.8	<b>5.5</b>	<b>0.043</b>
	30	Alta	Si	15.9	35.3	51.2	<b>5.2</b>	<b>0.039</b>
			No	20	39.9	59.9	<b>6.1</b>	<b>0.066</b>
		Baja	Si	15.9	35.3	51.2	<b>5.2</b>	<b>0.039</b>
			No	17.1	36.5	53.6	<b>5.5</b>	<b>0.045</b>
Vacío	70	Alta	Si	22.1	23.8	45.9	<b>4.7</b>	<b>0.014</b>
			No	19.3	21	40.3	<b>4.1</b>	<b>0.008</b>
		Baja	Si	18.1	16	34.1	<b>3.5</b>	<b>0.004</b>
			No	15.8	13.8	29.6	<b>3.0</b>	<b>0.002</b>
	50	Alta	Si	18.9	20	38.9	<b>4.0</b>	<b>0.007</b>
			No	18.3	19.4	37.7	<b>3.8</b>	<b>0.006</b>
		Baja	Si	15.9	14.3	30.2	<b>3.1</b>	<b>0.003</b>
			No	15.3	13.6	28.9	<b>2.9</b>	<b>0.002</b>
	30	Alta	Si	16.9	16.6	33.5	<b>3.4</b>	<b>0.004</b>
			No	17.3	16.6	33.9	<b>3.5</b>	<b>0.004</b>
		Baja	Si	14.5	13.1	27.6	<b>2.8</b>	<b>0.002</b>
			No	14.9	13.2	28.1	<b>2.9</b>	<b>0.002</b>

## 7.4 Anexo 4: agresividades de las corrientes de tráfico

**Tabla 7.10: Agresividad de la corriente vehicular 1 para el escenario 1**

Escenario 1 – C5A = Vía Curva + 5% (50km/h)+Rugosidad Alta							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	4	6.1	8.7	1%	23%	12%	<b>5.6</b>
2 ejes	0.3	3.1	12.2	16%	10%	16%	
3 ejes	0.4	7.9	21.9	3%	2%	2%	
5 ejes	0.3	16.3	21.1	0%	1%	0%	
Pick-Up	0	0	0	8%	3%	3%	

**Tabla 7.11: Agresividad de la corriente vehicular 1 para el escenario 2**

Escenario 2 - C5B = Vía Curva + 5% (50km/h)+Rugosidad baja							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	3.1	6.1	8.7	1%	23%	12%	<b>5.6</b>
2 ejes	0.2	3.1	12.2	16%	10%	16%	
3 ejes	0.3	7.9	21.9	3%	2%	2%	
5 ejes	0.3	16.3	21.1	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.0	8%	3%	3%	

**Tabla 7.12: Agresividad de la corriente vehicular 1 para el escenario 3**

Escenario 3 – C10A = Vía Curva + 10% (30km/h)+Rugosidad Alta							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	2.7	6.1	8.6	1%	23%	12%	<b>4.4</b>
2 ejes	0.2	5.3	2.9	16%	10%	16%	
3 ejes	0.2	7.8	21.8	3%	2%	2%	
5 ejes	0.2	17.7	25.4	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.0	8%	3%	3%	

**Tabla 7.13: Agresividad de la corriente vehicular 1 para el escenario 4**

Escenario 4 – C10B = Vía Curva + 10% (30km/h)+Rugosidad Baja							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	2.2	6.1	8.6	1%	23%	12%	<b>4.3</b>
2 ejes	0.1	4.2	2.9	16%	10%	16%	
3 ejes	0.2	7.8	21.8	3%	2%	2%	
5 ejes	0.2	17.7	25.4	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.0	8%	3%	3%	

**Tabla 7.14: Agresividad de la corriente vehicular 1 para el escenario 7**

Escenario 7 – R5A = Vía Recta + 5% (50km/h)+Rugosidad Alta							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	3.2	7.4	10.1	1%	23%	12%	<b>7.2</b>
2 ejes	0.3	4.5	15.3	16%	10%	16%	
3 ejes	0.3	13.5	35.9	3%	2%	2%	
5 ejes	0.3	21.1	21.7	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.1	8%	3%	3%	

**Tabla 7.15: Agresividad de la corriente vehicular 1 para el escenario 8**

Escenario 8 – R5B = Vía Recta + 5% (50km/h)+Rugosidad Baja							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	1.9	6.1	8.4	1%	23%	12%	<b>5.6</b>
2 ejes	0.2	3.4	12.3	16%	10%	16%	
3 ejes	0.2	8.5	23.3	3%	2%	2%	
5 ejes	0.2	16.6	21.7	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.0	8%	3%	3%	

**Tabla 7.16: Agresividad de la corriente vehicular 2 para el escenario 1**

Escenario 1 – C5A = Vía Curva + 5% (50km/h)+Rugosidad Alta							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	4	6.1	8.7	1%	35%	0%	<b>3.6</b>
2 ejes	0.3	3.1	12.2	16%	26%	0%	
3 ejes	0.4	7.9	21.9	3%	4%	0%	
5 ejes	0.3	16.3	21.1	0%	1%	0%	
Pick-Up	0	0	0	8%	5%	0%	

**Tabla 7.17: Agresividad de la corriente vehicular 2 para el escenario 2**

Escenario 2 - C5B = Vía Curva + 5% (50km/h)+Rugosidad baja							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	3.1	6.1	8.7	1%	35%	0%	<b>3.5</b>
2 ejes	0.2	3.1	12.2	16%	26%	0%	
3 ejes	0.3	7.9	21.9	3%	4%	0%	
5 ejes	0.3	16.3	21.1	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.0	8%	5%	0%	

**Tabla 7.18: Agresividad de la corriente vehicular 2 para el escenario 3**

Escenario 3 – C10A = Vía Curva + 10% (30km/h)+Rugosidad Alta							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	2.7	6.1	8.6	1%	35%	0%	<b>4.1</b>
2 ejes	0.2	5.3	2.9	16%	26%	0%	
3 ejes	0.2	7.8	21.8	3%	4%	0%	
5 ejes	0.2	17.7	25.4	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.0	8%	5%	0%	

**Tabla 7.19: Agresividad de la corriente vehicular 2 para el escenario 4**

Escenario 4 – C10B = Vía Curva + 10% (30km/h)+Rugosidad Baja							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	2.2	6.1	8.6	1%	35%	0%	<b>3.8</b>
2 ejes	0.1	4.2	2.9	16%	26%	0%	
3 ejes	0.2	7.8	21.8	3%	4%	0%	
5 ejes	0.2	17.7	25.4	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.0	8%	5%	0%	

**Tabla 7.20: Agresividad de la corriente vehicular 2 para el escenario 7**

Escenario 7 – R5A = Vía Recta + 5% (50km/h)+Rugosidad Alta							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	3.2	7.4	10.1	1%	35%	0%	<b>4.7</b>
2 ejes	0.3	4.5	15.3	16%	26%	0%	
3 ejes	0.3	13.5	35.9	3%	4%	0%	
5 ejes	0.3	21.1	21.7	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.1	8%	5%	0%	

**Tabla 7.21: Agresividad de la corriente vehicular 2 para el escenario 8**

Escenario 8 – R5B = Vía Recta + 5% (50km/h)+Rugosidad Baja							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	1.9	6.1	8.4	1%	35%	0%	<b>3.6</b>
2 ejes	0.2	3.4	12.3	16%	26%	0%	
3 ejes	0.2	8.5	23.3	3%	4%	0%	
5 ejes	0.2	16.6	21.7	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.0	8%	5%	0%	

**Tabla 7.22: Agresividad de la corriente vehicular 3 para el escenario 1**

Escenario 1 – C5A = Vía Curva + 5% (50km/h)+Rugosidad Alta							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	4	6.1	8.7	0%	37%	0%	<b>4.3</b>
2 ejes	0.3	3.1	12.2	0%	42%	0%	
3 ejes	0.4	7.9	21.9	0%	7%	0%	
5 ejes	0.3	16.3	21.1	0%	1%	0%	
Pick-Up	0	0	0	0%	14%	0%	

**Tabla 7.23: Agresividad de la corriente vehicular 3 para el escenario 2**

Escenario 2 - C5B = Vía Curva + 5% (50km/h)+Rugosidad baja							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	3.1	6.1	8.7	0%	37%	0%	<b>4.3</b>
2 ejes	0.2	3.1	12.2	0%	42%	0%	
3 ejes	0.3	7.9	21.9	0%	7%	0%	
5 ejes	0.3	16.3	21.1	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.0	0%	14%	0%	

**Tabla 7.24: Agresividad de la corriente vehicular 3 para el escenario 3**

Escenario 3 – C10A = Vía Curva + 10% (30km/h)+Rugosidad Alta							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	2.7	6.1	8.6	0%	37%	0%	<b>5.2</b>
2 ejes	0.2	5.3	2.9	0%	42%	0%	
3 ejes	0.2	7.8	21.8	0%	7%	0%	
5 ejes	0.2	17.7	25.4	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.0	0%	14%	0%	

**Tabla 7.25: Agresividad de la corriente vehicular 3 para el escenario 4**

Escenario 4 – C10B = Vía Curva + 10% (30km/h)+Rugosidad Baja							
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			Agresividad de la corriente
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	2.2	6.1	8.6	0%	37%	0%	<b>4.8</b>
2 ejes	0.1	4.2	2.9	0%	42%	0%	
3 ejes	0.2	7.8	21.8	0%	7%	0%	
5 ejes	0.2	17.7	25.4	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.0	0%	14%	0%	

**Tabla 7.26: Agresividad de la corriente vehicular 3 para el escenario 7**

Escenario 7 – R5A = Vía Recta + 5% (50km/h)+Rugosidad Alta							Agresividad de la corriente
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	3.2	7.4	10.1	0%	37%	0%	<b>5.8</b>
2 ejes	0.3	4.5	15.3	0%	42%	0%	
3 ejes	0.3	13.5	35.9	0%	7%	0%	
5 ejes	0.3	21.1	21.7	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.1	0%	14%	0%	

**Tabla 7.27: Agresividad de la corriente vehicular 3 para el escenario 8**

Escenario 8 – R5B = Vía Recta + 5% (50km/h)+Rugosidad Baja							Agresividad de la corriente
VEHÍCULO	AGRESIVIDADES			CORRIENTE			
	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	VACIOS	MOPT	SOBRECARGA	
Buses	1.9	6.1	8.4	0%	37%	0%	<b>4.4</b>
2 ejes	0.2	3.4	12.3	0%	42%	0%	
3 ejes	0.2	8.5	23.3	0%	7%	0%	
5 ejes	0.2	16.6	21.7	0%	1%	0%	
Pick-Up	0.0	0.0	0.0	0%	14%	0%	

## 7.5 Anexo 5: número de pesados

**Tabla 7.28: Numero de ejes equivalentes que la estructura espesa soporta para la Corriente 1**

	Estructura Espesa					
	PORTOVIEJO			TULCAN		
	30	50	70	30	50	70
Módulo (MPa)	5501	6240	6781	5484	6221	6760
fatiga	1,88E+08	2,34E+08	2,72E+08	1,87E+08	2,33E+08	2,71E+08
def. permanente	2,52E+08	3,28E+08	3,91E+08	2,51E+08	3,26E+08	3,88E+08
	1,88E+08	2,34E+08	2,72E+08	1,87E+08	2,33E+08	2,71E+08

**Tabla 7.29: Número de vehículos pesados que la estructura espesa soporta**

	N pesados					
Recta-RA	-	26.039.646	29.581.065	-	25.882.602	29.433.089
Recta-RB	-	33.195.215	39.790.663	-	32.995.016	39.591.614
Curva-RA	34.174.409	33.214.602	-	33.976.333	33.014.286	-
Curva-RB	35.222.348	33.399.603	-	35.018.198	33.198.171	-

**Tabla 7.30: TPDA**

Recta-RA	-	2655	3016	-	2639	3001
Recta-RB	-	3385	4057	-	3364	4037
Curva-RA	3484	3387	-	3464	3366	-
Curva-RB	3591	3405	-	3570	3385	-

**Tabla 7.31: Numero de ejes equivalentes que la estructura delgada soporta para la Corriente**

	Estructura Delgada					
	PORTOVIEJO			TULCAN		
	30	50	70	30	50	70
Módulo (MPa)	5326	6042	6566	5501	6240	6781
fatiga	1,64E+07	1,97E+07	2,25E+07	1,66E+07	2,00E+07	2,27E+07
def. permanente	3,26E+07	4,07E+07	4,72E+07	3,31E+07	4,13E+07	4,80E+07
	1,64E+07	1,97E+07	2,25E+07	1,66E+07	2,00E+07	2,27E+07

**Tabla 7.32: Número de vehículos pesados que la estructura delgada soporta**  
N pesados

Recta-RA	-	3.372.790	3.735.463	-	3.418.073	3.776.189
Recta-RB	-	4.386.453	5.171.926	-	4.445.345	5.228.314
Curva-RA	3.190.046	4.416.452	-	3.225.291	4.475.747	-
Curva-RB	3.442.182	4.452.121	-	3.480.214	4.511.895	-

**Tabla 7.33: TPDA**

Recta-RA	-	344	381	-	349	385
Recta-RB	-	447	527	-	453	533
Curva-RA	325	450	-	329	456	-
Curva-RB	351	454	-	355	460	-

**Tabla 7.34: Numero de ejes equivalentes que la estructura espesa soporta para la Corriente 2**

	Espesa					
	PORTOVIEJO			TULCAN		
	30	50	70	30	50	70
Módulo (MPa)	5501	6240	6781	5484	6221	6760
fatiga	1,88E+08	2,34E+08	2,72E+08	1,87E+08	2,33E+08	2,71E+08
def. permanente	2,52E+08	3,28E+08	3,91E+08	2,51E+08	3,26E+08	3,88E+08
	1,88E+08	2,34E+08	2,72E+08	1,87E+08	2,33E+08	2,71E+08

**Tabla 7.35: Número de vehículos pesados que la estructura espesa soporta**  
N pesados

Recta-RA	-	40.094.145	45.250.787	-	39.852.339	45.024.425
Recta-RB	-	52.144.094	62.651.872	-	51.829.615	62.338.462
Curva-RA	36.438.109	52.500.709	-	36.226.912	52.184.080	-
Curva-RB	39.318.127	52.924.724	-	39.090.238	52.605.538	-

**Tabla 7.36: TPDA**

Recta-RA	-	4088	4614	-	4063	4591
Recta-RB	-	5317	6388	-	5285	6356
Curva-RA	3715	5353	-	3694	5321	-
Curva-RB	4009	5396	-	3986	5364	-

**Tabla 7.37: Numero de ejes equivalentes que la estructura delgada soporta para la Corriente 3**

	Estructura Delgada					
	PORTOVIEJO			TULCAN		
	30	50	70	30	50	70
Módulo (MPa)	5326	6042	6566	5501	6240	6781
fatiga	1,64E+07	1,97E+07	2,25E+07	1,66E+07	2,00E+07	2,27E+07
def. permanente	3,26E+07	4,07E+07	4,72E+07	3,31E+07	4,13E+07	4,80E+07
	1,64E+07	1,97E+07	2,25E+07	1,66E+07	2,00E+07	2,27E+07

**Tabla 7.38: Número de vehículos pesados que la estructura delgada soporta  
N pesados**

Recta-RA	-	2.716.221	2.988.148	-	2.752.688	3.020.726
Recta-RB	-	3.571.592	4.202.622	-	3.619.544	4.248.442
Curva-RA	2.521.948	3.683.733	-	2.549.812	3.733.190	-
Curva-RB	2.763.915	3.685.441	-	2.794.452	3.734.921	-

**Tabla 7.39: TPDA**

Recta-RA	-	277	305	-	281	308
Recta-RB	-	364	429	-	369	433
Curva-RA	257	376	-	260	381	-
Curva-RB	282	376	-	285	381	-

**Tabla 7.40: Numero de ejes equivalentes que la estructura espesa soporta para la Corriente 3**

	Estructura Espesa					
	PORTOVIEJO			TULCAN		
	30	50	70	30	50	70
Módulo (MPa)	5501	6240	6781	5484	6221	6760
fatiga	1,88E+08	2,34E+08	2,72E+08	1,87E+08	2,33E+08	2,71E+08
def. permanente	2,52E+08	3,28E+08	3,91E+08	2,51E+08	3,26E+08	3,88E+08
	1,88E+08	2,34E+08	2,72E+08	1,87E+08	2,33E+08	2,71E+08

**Tabla 7.41: Número de vehículos pesados que la estructura espesa soporta  
N pesados**

Recta-RA	-	32.289.157	36.197.932	-	32.094.422	36.016.855
Recta-RB	-	42.457.414	50.909.879	-	42.201.356	50.655.207
Curva-RA	28.806.804	43.790.487	-	28.639.839	43.526.389	-
Curva-RB	31.570.651	43.810.792	-	31.387.667	43.546.572	-

**Tabla 7.42: TMDA**

Recta-RA	-	3292	3691	-	3272	3672
Recta-RB	-	4329	5191	-	4303	5165
Curva-RA	2937	4465	-	2920	4438	-
Curva-RB	3219	4467	-	3200	4440	-

## 7.6 Anexo 6: datos para el cálculo de los módulos de deformabilidad

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	26	26.2	26.6	26.6	26.1	25	24.6	24.6	24.8	25	25.1	25.7
Temperatura mín. (°C)	21.5	21.8	22	21.8	21.3	20.6	19.9	19.4	19.6	20	20	20.7
Temperatura máx. (°C)	30.6	30.7	31.3	31.5	30.9	29.5	29.3	29.8	30.1	30.1	30.2	30.8
Temperatura media (°F)	78.8	79.2	79.9	79.9	79.0	77.0	76.3	76.3	76.6	77.0	77.2	78.3
Temperatura mín. (°F)	70.7	71.2	71.6	71.2	70.3	69.1	67.8	66.9	67.3	68.0	68.0	69.3
Temperatura máx. (°F)	87.1	87.3	88.3	88.7	87.6	85.1	84.7	85.6	86.2	86.2	86.4	87.4
Precipitación (mm)	85	124	112	59	26	18	8	2	4	3	4	15

**Figura 7.1: Tabla climática histórica de la ciudad de Portoviejo**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	11.5	11.6	11.6	11.9	11.7	11.1	10.4	10.5	11.1	11.7	11.8	12.1
Temperatura mín. (°C)	6.4	6.6	6.7	7	6.8	6.3	5.6	5.5	5.8	6.4	6.5	7.4
Temperatura máx. (°C)	16.6	16.6	16.6	16.8	16.7	15.9	15.3	15.6	16.4	17	17.1	16.8
Temperatura media (°F)	52.7	52.9	52.9	53.4	53.1	52.0	50.7	50.9	52.0	53.1	53.2	53.8
Temperatura mín. (°F)	43.5	43.9	44.1	44.6	44.2	43.3	42.1	41.9	42.4	43.5	43.7	45.3
Temperatura máx. (°F)	61.9	61.9	61.9	62.2	62.1	60.6	59.5	60.1	61.5	62.6	62.8	62.2
Precipitación (mm)	75	80	92	106	78	58	37	37	51	113	120	94

**Figura 7.2: Tabla climática histórica de la ciudad de Tulcán**

**Tabla 7.43: Módulo de deformabilidad para estructura de capa delgada a 50km/h para Portoviejo y Tulcán**

ESTRUCTURA DELGADA			
TEMP PORTOVIEJO		TEMP TULCAN	
tc 50=	0,02	tc 50=	0,02
VT=	50 km/h	VT=	50 km/h
vb=	12 %	vb=	12 %
n=	4 %	n=	4 %
va=-	84 %	va=-	84 %
SM108=	9,983576	SM108=	9,983576
S68=	0,67076667	S68=	0,670766673
SM3109=	10,59633333	SM3109=	10,596333333
S89=	0,46461197	S89=	0,464611968
Pen grade	30/40	Pen grade	60/70
PEN25=	35	PEN25=	65
PEN25 <sub>r</sub> =	22,75	PEN25 <sub>r</sub> =	42,25
TAB <sub>r</sub> =	63,3735401	TAB <sub>r</sub> =	56,2894661
TAB <sub>r</sub> -T	39,605	TAB <sub>r</sub> -T	39,031
IP=	-0,04831228	IP=	-0,13502442
SB=	49,9216611	SB=	50,60792433
A=	9,78119833	A=	9,785175644
B=	10,0440089	B=	10,04584995
E50ta=	6,04E+09	E50tb=	6,10E+09

**Tabla 7.44: Módulo de deformabilidad para estructura de capa espesa a 50km/h para Portoviejo y Tulcán**

ESTRUCTURA ESPESA			
TEMP PORTOVIEJO		TEMP TULCAN	
tc 50=	0,02	tc 50=	0,02
VT=	50 km/h	VT=	50 km/h
vb=	12 %	vb=	12 %
n=	4 %	n=	4 %
va=-	84 %	va=-	84 %
SM108=	9,983576	SM108=	9,983576
S68=	0,67076667	S68=	0,670766673
SM3109=	10,59633333	SM3109=	10,59633333
S89=	0,46461197	S89=	0,464611968
Pen grade	30/40	Pen grade	60/70
PEN25=	35	PEN25=	65
PEN25 <sub>r</sub> =	22,75	PEN25 <sub>r</sub> =	42,25
TAB <sub>r</sub> =	63,3735401	TAB <sub>r</sub> =	56,2894661
TAB <sub>r</sub> -T	39,988	TAB <sub>r</sub> -T	39,265
IP=	-0,04831228	IP=	-0,135024421
SB=	52,3797615	SB=	52,14374455
A=	9,79520025	A=	9,793884671
B=	10,0504903	B=	10,04988137
E50ta=	6,24E+09	E50tb=	6,22E+09

**Tabla 7.45: Módulo de deformabilidad para estructura de capa delgada a 30km/h para Portoviejo y Tulcán**

ESTRUCTURA DELGADA			
TEMP PORTOVIEJO		TEMP TULCAN	
tc 30=	0,033333333	tc 30=	0,033333333
VT=	30 km/h	VT=	30 km/h
vb=	12 %	vb=	12 %
n=	4 %	n=	4 %
va=-	84 %	va=-	84 %
SM108=	9,983576	SM108=	9,983576
S68=	0,670766673	S68=	0,670766673
SM3109=	10,59633333	SM3109=	10,59633333
S89=	0,464611968	S89=	0,464611968
Pen grade	30/40	Pen grade	60/70
PEN25=	35	PEN25=	65
PEN25 <sub>r</sub> =	22,75	PEN25 <sub>r</sub> =	42,25
TAB <sub>r</sub> =	63,37354008	TAB <sub>r</sub> =	56,2894661
TAB <sub>r</sub> -T	39,605	TAB <sub>r</sub> -T	39,031
IP=	-0,048312284	IP=	-0,13502442
SB=	41,36649154	SB=	41,93514851
A=	9,726436716	A=	9,730414025
B=	10,01865966	B=	10,02050076
E30ta=	5,33E+09	E30tb=	5,38E+09

**Tabla 7.46: Módulo de deformabilidad para estructura de capa espesa a 30km/h para Portoviejo y Tulcán**

ESTRUCTURA ESPESA			
TEMP PORTOVIEJO		TEMP TULCAN	
tc 30=	0,0333333333	tc 30=	0,0333333333
VT=	30 km/h	VT=	30 km/h
vb=	12 %	vb=	12 %
n=	4 %	n=	4 %
va=-	84 %	va=-	84 %
SM108=	9,983576	SM108=	9,983576
S68=	0,670766673	S68=	0,670766673
SM3109=	10,59633333	SM3109=	10,59633333
S89=	0,464611968	S89=	0,464611968
Pen grade	30/40	Pen grade	60/70
PEN25=	35	PEN25=	65
PEN25,r=	22,75	PEN25,r=	42,25
TAB,r=	63,37354008	TAB,r=	56,2894661
TAB,r-T	39,988	TAB,r-T	39,265
IP=	-0,048312284	IP=	-0,135024421
SB=	43,40334259	SB=	43,20777231
A=	9,740438627	A=	9,739123052
B=	10,02514115	B=	10,02453217
E30ta=	5,50E+09	E30tb=	5,48E+09

### 7.7 Anexo 7: implementación del software KenPave

El cálculo de estas deformaciones en el asfalto se la realizo con la ayuda del software KenPave, a continuación se presentan ejemplos de los datos utilizados para insertar en el software y ejemplos de los valores que se obtienen del mismo

1).- ejemplos de valores a insertar:

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE	E70TA DELGADA		
Type of material (1=linear, 2=nonlinear, 3=viscoelastic, 4=combined)	(MATL)		1
Damage analysis (0=no, 1=yes with summary only, 2=yes with detatiled printout)	(NDAMA)		0
Number of periods per year	(NPY)		1
Number of load groups	(NLG)		1
Tolerance for numerical integration	(DEL)		0.001
Number of layers	(NL)		3
Number of Z coordinates for analysis	(NZ)		2
Maximum cycles of numerical integration	(ICL)		80
Type of responses (1=displacements only, 5=plus stresses, 9=plus strains)	(NSTD)		9
All layer interfaces bonded (1=yes, 0=if some are frictionless)	(NBOND)		1
Number of layers for bottom tension	(NLBT)		1
Number of layers for top compression	(NLTC)		1
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT)		1

OK

Figura 7.3: ventana de información general del software Kenpave

En la ventana de la **Figura 7.3** se editan los valores de las capas a utilizarse que para nuestro caso de estudio son 3 capas.

Point No.	ZC
1	17.9
2	38.1

**Figura 7.4:** ventana de edición de las coordenadas Z de respuesta del software KenPave

En la figura anterior se muestra el ejemplo de inserción de los datos de las coordenadas de respuesta en el eje Z, que para este ejemplo es de una capa delgada de 18cm de asfalto y una capa de base de 20 cm, pero como el rango de tolerancia es de 1 mm, se miden las extensiones 1 mm antes de terminar el espesor total de la capa asfáltica y 1mm después de la capa base, es decir, 17,9 cm para este ejemplo y 38,1 cm de la capa base. Este procedimiento se lo realizo para los once escenarios restantes, donde varían los datos para la capa gruesa cuyos valores son 25,9 cm para la capa asfáltica y 46,1 cm de la capa base.

Layer No.	E
1	6042245
2	200000
3	100000

**Figura 7.5:** ventana de edición de los módulos de deformabilidad de cada capa del software KenPave

Aquí se ingresan los datos de los módulos de deformabilidad que tenga cada capa que se esté analizando en el proyecto como el ejemplo mostrado en la **Figura 7.5** donde:

1 = módulo de deformabilidad de la capa asfáltica

2 = módulo de deformabilidad de la capa base

3 = módulo de deformabilidad del suelo de fundación

Los demás valores que se aplican en el software son valores típicos normalizados, entonces mandando al calcular el software se obtienen documentos de notas que arrojan las extensiones sobre el pavimento, a continuación se muestra el ejemplo de valores arrojados para este mismo ejemplo:

NUMBER OF PROBLEMS TO BE SOLVED = 1

TITLE -E70TA DELGADA

MATL = 1 FOR LINEAR ELASTIC LAYERED SYSTEM

NDAMA = 0, SO DAMAGE ANALYSIS WILL NOT BE PERFORMED

NUMBER OF PERIODS PER YEAR (NPY) = 1

NUMBER OF LOAD GROUPS (NLG) = 1

TOLERANCE FOR INTEGRATION (DEL) -- = 0,001

NUMBER OF LAYERS (NL)----- = 3  
 NUMBER OF Z COORDINATES (NZ)----- = 2  
 LIMIT OF INTEGRATION CYCLES (ICL)- = 80  
 COMPUTING CODE (NSTD)----- = 9  
 SYSTEM OF UNITS (NUNIT)----- = 1

Length and displacement in cm, stress and modulus in kPa unit weight in kN/m<sup>3</sup>, and temperature in C

THICKNESSES OF LAYERS (TH) ARE : 18 20  
 POISSON'S RATIOS OF LAYERS (PR) ARE : 0,35 0,3 0,35  
 VERTICAL COORDINATES OF POINTS (ZC) ARE: 17,9 38,1  
 ALL INTERFACES ARE FULLY BONDED

FOR PERIOD NO. 1 LAYER NO. AND MODULUS ARE: 1)6,042E+06 2)2,000E+05 3)1,000E+05

LOAD GROUP NO. 1 HAS 2 CONTACT AREAS

CONTACT RADIUS (CR)----- = 10,6  
 CONTACT PRESSURE (CP)----- = 566.589  
 NO. OF POINTS AT WHICH RESULTS ARE DESIRED (NPT)-- = 2  
 WHEEL SPACING ALONG X-AXIS (XW)----- = 0  
 WHEEL SPACING ALONG Y-AXIS (YW)----- = 31,7

RESPONSE PT. NO. AND (XPT, YPT) ARE: 1 0,000 0,000 2 0,000 15,850

PERIOD NO. 1 LOAD GROUP NO. 1

POINT NO.	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISP.	VERTICAL STRESS (STRAIN)	MAJOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	MINOR PRINCIPAL STRESS (STRAIN)	INTERMEDIATE P. STRESS (HORIZONTAL P. STRAIN)	
1	17,90000	0,02711	50,665 9,434E-05	50,791 9,436E-05	-810,222 -9,801E-05	-673,710 -9,801E-05	A
1	38,10000	0,02318	24,936 2,452E-04	25,514 2,530E-04	-0,180 -9,388E-05	0,794 -9,388E-05	C
2	17,90000	0,02789	48,289 8,442E-05	48,289 8,442E-05	-781,066 -1,009E-04	-538,277 -1,009E-04	B
2	38,10000	0,02382	26,564 2,629E-04	26,564 2,629E-04	-0,254 -9,912E-05	1,030 -9,912E-05	D

Se escogen las máximas extensiones para cada literal (A, B, C, D), ignorando el signo de cada valor. Así los valores necesarios para el ejemplo presentado quedan resumidos en la siguiente tabla.

**Tabla 7.47: Extensiones en el pavimento de capa delgada para Portoviejo y velocidad de 70km/h**

ESTRUCTURA DELGADA	
E=	6,57E+09
A=	9,27E-05
B=	9,54E-05
C=	2,37E-04
D=	2,53E-04
MAX Er =	9,54E-05
MAX Ez =	2,53E-04
Extensiones	
Fatiga	95,40
Def. Permanente	253,30
N80 fatiga	2,25E+07
N80 Def. Permanente	4,72E+07

Realizada la determinación de todas las extensiones en el pavimento para cada uno de los escenarios junto con las agresividades de las diferentes corrientes de tráfico podemos determinar el número de pasadas del eje equivalente de diseño, las agresividades son las resumidas en la **Tabla 4.3**, **Tabla 4.4** y **Tabla 4.5**.

**Tabla 7.48: Extensiones en el pavimento de capa delgada y gruesa para Portoviejo y velocidad de 70km/h**

ESTRUCTURA DELGADA		ESTRUCTURA ESPESA	
E=	6,57E+09	E=	6,78E+09
A=	9,27E-05	A=	5,44E-05
B=	9,54E-05	B=	5,73E-05
C=	2,37E-04	C=	1,41E-04
D=	2,53E-04	D=	1,49E-04
MAX Er =	9,54E-05	MAX Er =	5,73E-05
MAX Ez =	2,53E-04	MAX Ez =	1,49E-04
Extensiones		Extensiones	
Fatiga	95,40	Fatiga	57,26
Def. Permanente	253,30	Def. Permanente	149,30
N80 fatiga	2,25E+07	N80 fatiga	2,72E+08
N80 Def. Permanente	4,72E+07	N80 Def. Permanente	3,91E+08

**Tabla 7.49: Extensiones en el pavimento de capa delgada y gruesa para Portoviejo y velocidad de 50km/h**

ESTRUCTURA DELGADA		ESTRUCTURA ESPESA	
E=	6,04E+09	E=	6,24E+09
A=	9,80E-05	A=	5,77E-05
B=	1,01E-04	B=	6,08E-05
C=	2,45E-04	C=	1,47E-04
D=	2,63E-04	D=	1,56E-04
MAX Er =	1,01E-04	MAX Er =	6,08E-05
MAX Ez =	2,63E-04	MAX Ez =	1,56E-04
Extensiones		Extensiones	
Fatiga	100,90	Fatiga	60,79
Def. Permanente	262,90	Def. Permanente	156,00
N80 fatiga	1,97E+07	N80 fatiga	2,34E+08
N80 Def. Permanente	4,07E+07	N80 Def. Permanente	3,28E+08

**Tabla 7.50: Extensiones en el pavimento de capa delgada y gruesa para Portoviejo y velocidad de 30km/h**

ESTRUCTURA DELGADA		ESTRUCTURA ESPESA	
E=	5,33E+09	E=	5,50E+09
A=	1,07E-04	A=	6,31E-05
B=	1,10E-04	B=	6,65E-05
C=	2,59E-04	C=	1,57E-04
D=	2,78E-04	D=	1,67E-04
MAX Er =	1,10E-04	MAX Er =	6,65E-05
MAX Ez =	2,78E-04	MAX Ez =	1,67E-04
Extensiones		Extensiones	
Fatiga	109,50	Fatiga	66,50
Def. Permanente	277,90	Def. Permanente	166,60
N80 fatiga	1,64E+07	N80 fatiga	1,88E+08
N80 Def. Permanente	3,26E+07	N80 Def. Permanente	2,52E+08

**Tabla 7.51: Extensiones en el pavimento de capa delgada y gruesa para Tulcán y velocidad de 70km/h**

ESTRUCTURA DELGADA		ESTRUCTURA ESPESA	
E=	6,63E+09	E=	6,76E+09
A=	9,22E-05	A=	5,45E-05
B=	9,49E-05	B=	5,74E-05
C=	2,36E-04	C=	1,42E-04
D=	2,52E-04	D=	1,50E-04
MAX Er =	9,49E-05	MAX Er =	5,74E-05
MAX Ez =	2,52E-04	MAX Ez =	1,50E-04
Extensiones		Extensiones	
Fatiga	94,88	Fatiga	57,38
Def. Permanente	252,30	Def. Permanente	149,60
N80 fatiga	2,27E+07	N80 fatiga	2,71E+08
N80 Def. Permanente	4,80E+07	N80 Def. Permanente	3,88E+08

**Tabla 7.52: Extensiones en el pavimento de capa delgada y gruesa para Tulcán y velocidad de 50km/h**

ESTRUCTURA DELGADA		ESTRUCTURA ESPESA	
E=	6,10E+09	E=	6,22E+09
A=	9,74E-05	A=	5,79E-05
B=	1,00E-04	B=	6,09E-05
C=	2,44E-04	C=	1,48E-04
D=	2,62E-04	D=	1,56E-04
MAX Er =	1,00E-04	MAX Er =	6,09E-05
MAX Ez =	2,62E-04	MAX Ez =	1,56E-04
Extensiones		Extensiones	
Fatiga	100,30	Fatiga	60,93
Def. Permanente	261,90	Def. Permanente	156,30
N80 fatiga	2,00E+07	N80 fatiga	2,33E+08
N80 Def. Permanente	4,13E+07	N80 Def. Permanente	3,26E+08

**Tabla 7.53: Extensiones en el pavimento de capa delgada y gruesa para Tulcán y velocidad de 30km/h**

ESTRUCTURA DELGADA		ESTRUCTURA ESPESA	
E=	5,38E+09	E=	5,48E+09
A=	1,06E-04	A=	6,32E-05
B=	1,09E-04	B=	6,67E-05
C=	2,58E-04	C=	1,57E-04
D=	2,77E-04	D=	1,67E-04
MAX Er =	1,09E-04	MAX Er =	6,67E-05
MAX Ez =	2,77E-04	MAX Ez =	1,67E-04
Extensiones		Extensiones	
Fatiga	108,90	Fatiga	66,65
Def. Permanente	276,80	Def. Permanente	166,80
N80 fatiga	1,66E+07	N80 fatiga	1,87E+08
N80 Def. Permanente	3,31E+07	N80 Def. Permanente	2,51E+08

*Esta página fue intencionalmente dejada en blanco*