



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**“EFECTO DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL EN LA
VARIACIÓN DEL COSTO DE OPERACIÓN VEHICULAR, EN LA
CARRETERA VILCACOTO – ACOPALCA. HUANCAYO 2017”**

PRESENTADA POR EL BACHILLER

CHRISTIAN JAVIER BEJARANO PEREZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

HUANCAYO – PERÚ

MARZO, 2017

HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS

PRESIDENTE

MIEMBRO

MIEMBRO

MIEMBRO

SECRETARIO DE DOCENTE

DEDICATORIA:

A mis padres por la paciencia,
compresión y todo el apoyo brindado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	20
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	20
1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.2.1. Espacial.....	21
1.2.2. Temporal.....	22
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	23
1.3.1. Problema General	23
1.3.2. Problemas Específicos.....	23
1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	23
1.4.1. Objetivo General	23
1.4.2. Objetivos Específicos	23
1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
1.5.1. Hipótesis General.....	24
1.5.2. Hipótesis Específicas	24
1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
1.6.1. Variable Independiente	24
1.6.2. Variable Dependiente.....	25
1.6.3. Operacionalización de Variables.....	25
1.7. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	26

1.7.1. Justificación.....	26
1.7.2. Importancia	26
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	27
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN	27
2.1.1. Antecedente de la Investigación- Internacional.....	27
2.1.2. Antecedente De La Investigación- Nacional.....	30
2.1.3. Antecedente De La Investigación- Local	30
2.2. BASES TEÓRICAS.....	31
2.2.1. Características De La Red Nacional De Carreteras	31
2.2.2. Carreteras Pavimentadas Y No Pavimentadas	32
2.2.3. Índice De Rugosidad Internacional De Pavimentos Afirmados	44
2.2.4. Modelo Matemático Del Índice Regularidad Internacional	52
2.2.5. Clasificación De Los Equipos (Según El Banco Mundial, 1986)	55
2.2.6. Determinación Del Índice De Rugosidad Internacional (IRI)	57
2.2.7. Método de Queensland costo de operación.....	71
2.2.8. Velocidad De Operación	71
2.2.9. Costo De Operación De Vehículos.....	93
2.2.10. Costo Mantenimiento De Vías Afirmadas.....	122
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	123
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	126
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	126
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	126
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	126
3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	127
3.5. CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO	128
3.5.1. Validación de los instrumentos de la investigación	128

3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	128
3.6.1. Población	128
3.6.2. Muestra	128
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	128
3.7.1. Técnicas.....	128
3.7.2. Instrumentos	129
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	130
4.1. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES.....	130
4.1.1. Índice De Rugosidad.....	130
4.1.2. Velocidad De Operación	133
4.1.3. Costos De Operación	137
4.1.4. Mantenimiento.....	146
4.2. PRUEBAS DE NORMALIDAD	154
4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL.....	157
4.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS	161
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	167
5.1. CONCLUSIONES	167
5.2. RECOMENDACIONES.....	169
CAPÍTULO VI: Bibliografía.....	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Operacionalización de Variables	25
Tabla 2: Situación de las carreteras en el Perú al 31/12/2015.	32
Tabla 3 : Escala de índice de Servicialidad	44
Tabla 4: Índices de serviciabilidad de referencia.	46
Tabla 5: Clasificación de las características geométricas de la superficie de los pavimentos.	48
Tabla 6: Factores equivalentes de automóviles de pasajeros	73
Tabla 7: Capacidad de PCE por hora	76
Tabla 8: El tipo de carretera y el factor de capacidad de hora pico	77
Tabla 9: Velocidad libre	81
Tabla 10: Porcentaje por pendiente de terreno	83
Tabla 11: FSRG1 Factor de condición de velocidad de pavimento a 110 NRM 85	
Tabla 12: FSRG2 Factor de velocidad para la condición del pavimento a 250 NRM 86	
Tabla 13: Parámetros de velocidad de operación final.	90
Tabla 14: Factores que afectan la COV	95
Tabla 15: Costos de combustible y factores de consumo	96
Tabla 16: Ajuste por pendiente del consumo de combustible.....	98
Tabla 17: Ajuste por curvatura para el consumo de combustible.	100
Tabla 18: FCGRVF ajuste de rugosidad para consumo de combustible	103
Tabla 19: Costos de aceites y factores de consumo	106
Tabla 20: Desgaste de llantas y parámetros de costos.	109
Tabla 21: Ajuste de costo de llanta por pendiente y curvatura	112
Tabla 22: Proporciones de pendiente y curvatura preestablecidas	112

Tabla 23:	Matriz de ajuste por rugosidad para neumático	114
Tabla 24:	Costo de reparación y mantenimiento (RMUC)	116
Tabla 25:	Índice de condición de pavimento.....	116
Tabla 26:	Factores de tiempo y depreciación	118
Tabla 27:	Factor por tipo de superficie.	119
Tabla 28:	Índice de rugosidad internacional por progresiva y promedio.....	130
Tabla 29:	Índice de regularidad internacional característico.....	132
Tabla 30:	Calculo del factor VCR (Relación volumen capacidad), calculo previo a la velocidad de operación.	133
Tabla 31:	Hoja de cálculo de la velocidad de operación.....	135
Tabla 32:	Velocidad de operación para los tres tipos de vehículos que transitan dicha carretera, según la clasificación del método, para el IRlc.....	136
Tabla 33:	Velocidad de operación para diferentes Índices de rugosidad y por tipo de vehículo	137
Tabla 34:	Hoja de cálculo para el costo de operación vehicular de vehículos privados, para el IRlc.	138
Tabla 35:	Costo de operación por tipo de vehículo	142
Tabla 36:	Costos de operación por km, por día, mes y año para todo el tramo y para el total de vehículos.....	143
Tabla 37:	Costos por índice de rugosidad internacional para los tipos de vehículos que transitan la vía.	144
Tabla 38:	Costos de operación anual por el tráfico y por índices de rugosidad internacional	145
<i>Tabla 39:</i>	<i>Costo de mantenimiento para un índice de rugosidad de 4.....</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 40:</i>	<i>Costo de mantenimiento para un índice de rugosidad de 6.....</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 41:</i>	<i>Costo de mantenimiento para un índice de rugosidad de 8.....</i>	<i>149</i>
<i>Tabla 42:</i>	<i>Costo de mantenimiento para un índice de rugosidad de 10.....</i>	<i>150</i>

Tabla 43:	<i>Costo de mantenimiento para un índice de rugosidad de 12.....</i>	151
Tabla 44:	<i>Costo de mantenimiento para diferentes índices de rugosidad..</i>	151
Tabla 45:	Índice de rugosidad vs tiempo.....	152
Tabla 46:	Costos de operación y mantenimiento según el análisis para los diferentes índices de rugosidad.....	153
Tabla 47.	Pruebas de normalidad para IRI.....	154
Tabla 48.	Pruebas de normalidad Velocidades para vehículos privados. ..	155
Tabla 49.	Pruebas de normalidad Velocidades para vehículos comerciales. 155	
Tabla 50.	Pruebas de normalidad Velocidades para vehículos no articulados. 155	
Tabla 51.	Pruebas de normalidad costo de operación para vehículos privados. 156	
Tabla 52.	Pruebas de normalidad costo de operación para vehículos comerciales. 156	
Tabla 53.	Pruebas de normalidad costo de operación para vehículos no articulados. 156	
Tabla 54.	Correlación de Pearson IRI vs Velocidad de operación de operación Vehículos privados.	157
Tabla 55.	Correlación de Pearson IRI vs Velocidad de operación de operación Vehículos comerciales.....	158
Tabla 56.	Correlación de Pearson IRI vs Velocidad de operación de operación Vehículos no articulados.....	159
Tabla 57.	Correlación de Pearson IRI vs Velocidad de operación de operación de buses.	161
Tabla 58.	Correlación de Pearson IRI vs Costo de operación de operación Vehículos privados.....	162

Tabla 59.	Correlación de Pearson IRI vs Costo de operación de operación Vehículos comerciales.	163
Tabla 60.	Correlación de Pearson IRI vs Costo de operación de operación Vehículos no articulados.	164
Tabla 61.	Correlación de Pearson IRI vs Costo de operación de operación de buses.	166

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Deformación en vía sin pavimentar.	36
Figura 2:	Erosión en vías afirmadas.	37
Figura 3:	Baches o huecos en vías afirmadas.	38
Figura 4:	Encalaminado en vías sin afirmar.	38
Figura 5:	Lodazal y cruce de agua.	39
Figura 6:	Curva del comportamiento de un pavimento.	45
Figura 7:	Estado del pavimento vs vida del pavimento.	46
Figura 8:	Modelo cuarto de carro o Golden car.	51
Figura 9:	Modelo Matemático Del Índice De Regularidad Internacional	53
Figura 10:	Escala Estándar Empleada Por El Banco Mundial Para La Cuantificación Del IRI En Diferentes Vías	55
Figura 11:	Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto a la cuerda promedio.	59
Figura 12:	Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva.	60
Figura 13:	Equipo MERLÍN.	62
Figura 14:	Hoja de escala adherida al equipo para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto del nivel de referencia.	63
Figura 15:	Formato para la recolección de datos de campo.	66
Figura 16:	Velocidad de funcionamiento y VCR de los vehículos privados.	89
Figura 17:	Relación de Variables	127
Figura 18:	Histograma de las frecuencias de IRI.	132
Figura 19:	Velocidad de operación para los cuatro tipos de vehículos que transitan dicha carretera para el $IRI_c=9.26$	136
Figura 20:	Velocidad de operación para diferentes Índices de rugosidad y por tipo de vehículo, según la clasificación de la metodología.	137

Figura 21	Costo de operación por tipo de vehículo en soles/km	142
Figura 22:	Costo de operación en un año por tipo de vehículo para el IRlc encontrado	143
Figura 23:	Costo de operación para el tráfico dado en la carretera, para un año.	144
Figura 24:	Costo de operación para el tráfico dado en la carretera, para un año	145
Figura 25:	Costos de operación total por año para los índices de rugosidad indicados.	146
Figura 26:	Costo de mantenimiento para diferentes índices de rugosidad	152
Figura 27:	Costo de operación según análisis para los diferentes índices de rugosidad.	153
Figura 28:	Costo de operación y mantenimiento según análisis para los diferentes índices de rugosidad.....	153

RESUMEN

Diferentes investigaciones realizadas, revelan que los costos de operación de los vehículos dependen de la magnitud de las irregularidades superficiales del pavimento, afectando la velocidad de circulación, deterioro de los vehículos y el consumo de combustible. Los efectos dinámicos producidos por las irregularidades de las carreteras, pueden reflejarse no sólo en los vehículos, sino también en modificaciones del estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento, lo que puede incrementar los costos en las actividades de conservación y rehabilitación.

Con dicho objetivo se calculó el índice de rugosidad internacional del km 0+000 hasta el km 10+460 de la carretera Vilcacoto–Acopalca, utilizando un equipo de bajo costo, bajo rendimiento, pero gran precisión y fácil manejo, como es el equipo de MERLIN¹.

Conocer la regularidad superficial del pavimento desde el inicio de su periodo de servicio o en cualquier momento de la vida útil, permitirá definir las acciones de conservación o rehabilitación necesarias en el momento pertinente.

Debido a que el Índice de Regularidad Internacional (IRI) es geográficamente transferible, repetible y estable con el tiempo, se ha convertido en una medición atractiva y conveniente para el control de calidad de la construcción de nuevos pavimentos. Además de permitir evaluar la regularidad superficial de la carretera y reflejar el confort y seguridad de los usuarios, garantiza indirectamente el desempeño estructural del pavimento.

¹ El término “MERLIN” es acrónimo de Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation” que significa “Maquina para evaluar la rugosidad con instrumentación de bajo costo”.

La velocidad de operación, factor importante para calcular los costos de operación, se calculó, considerando el conteo de tráfico, tipos de vehículos y la rugosidad de la vía. Obtenida la velocidad de operación se calculó los costos de operación para vehículos privados, vehículos comerciales ligeros y camiones; ya que son los 3 tipos de vehículos que transitan por dicha carretera.

Se obtuvo un índice de regularidad internacional característica de 8.29 para la carretera en estudio, también se observó la presencia de erosión, baches, encalaminado. Siendo el límite de índice de rugosidad igual a 8.0 que nos indica el Manual de Carreteras – Conservación vial, habiendo la necesidad de un mantenimiento.

SUMMARY

Different research has shown that vehicle-operating costs depend on the magnitude of surface irregularities of the pavement, affecting the speed of traffic, deterioration of vehicles and fuel consumption. The dynamic effects caused by road irregularities can be reflected not only in vehicles but also in changes in the state of stresses and deformations in the pavement structure, which can increase costs in conservation and rehabilitation activities.

With this objective, the international roughness index of the km 0 + 000 to the km 10 + 460 of the Vilcacoto-Acopalca road was calculated, using a low cost equipment, low performance, but great precision and easy handling, as is the equipment of MERLIN.

Knowing the surface regularity of the pavement from the beginning of its period of service or at any time of the useful life, will allow to define the necessary conservation or rehabilitation actions at the relevant time.

Because the International Regularity Index (IRI) is geographically transferable, repeatable and stable over time, it has become an attractive and convenient measurement for quality control of new pavement construction. Besides allowing to evaluate the surface regularity of the road and to reflect the comfort and safety of the users, indirectly guarantees the structural performance of the pavement.

The speed of operation, an important factor for calculating operating costs, was calculated considering traffic counts, vehicle types and road roughness. Obtained the operating speed was calculated operating costs for private vehicles, light commercial vehicles and trucks; Since they are the 3 types of vehicles that transit by that highway.

A characteristic international regularity index of 8.29 was obtained for the road in study, also the presence of erosion, bumps, and sandwiched was observed. Being the limit of roughness index equal to 8.0 that indicates the Manual of Roads - Road conservation, being the necessity of a maintenance.

INTRODUCCIÓN

La red vial de un país es fundamental para su desarrollo y crecimiento, porque es el único medio masivo que posibilita el transporte de las personas y las cargas de localidad en localidad. La red de carreteras permite satisfacer las necesidades básicas de educación, trabajo, alimentación y salud; estas necesidades son las principales actividades de un país. Por ello, para un país es estratégico desarrollar su sistema vial, porque es el único modo con el que logra satisfacer no solo la obligación de viajar, sino también las necesidades esenciales de la población. En países con un adecuado desarrollo en transporte los costos de traslado u operación son menores, mientras que en la región los caminos con desvíos permanentes o tramos deteriorados incrementan los costos de traslado.

El costo de operación de vehículos que circulan en esta carretera, está relacionado con el diseño geométrico de la vía, pues esta depende de las pendientes del eje, diseño de curvas horizontales, curvas verticales, visibilidad, así como de la condición de la superficie de rodadura, costo del combustible, repuestos, son factores que influyen directamente en el costo de operación de los vehículos.

Los procedimientos de estimación de capacidad vial asumen la presencia de buenas condiciones de superficie de rodamiento, la cual se evalúa mediante herramientas que miden el perfil longitudinal del camino. El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) es la medida estándar de la regularidad superficial de un camino. Dicho índice es la sumatoria, en valor absoluto, de los desplazamientos verticales a lo largo de un intervalo de distancia, dividido entre su longitud.

Para la determinación del Índice de rugosidad internacional se tiene como antecedente la investigación de Pablo Del Águila Rodríguez titulada “Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos con

equipo de bajo costo y gran precisión” en el cual detalla el método con el equipo MERLIN², basado en la evaluación de 3000 km de carreteras en el Perú.

La regularidad superficial es la característica más percibida por los usuarios, ya que afecta a la comodidad; desgaste de los vehículos; consumo de energía; probabilidad de dañar a las mercancías transportadas; y finalmente puede propiciar accidentes. La comodidad depende principalmente del vehículo, del alineamiento horizontal, y del perfil longitudinal de la carretera. La mayor parte de los sistemas miden el perfil directamente, y después se analiza para obtener un indicador de la regularidad superficial.

El objetivo de esta investigación es estimar la variación de costos de operación de vehículos representativos en las vías a nivel de afirmado, en función del alineamiento geométrico y del estado superficial de las carreteras.

La presente investigación determinará la relación entre el Índice de Rugosidad Internacional con el mantenimiento, costo y velocidad de operación vehicular en la Carretera Vilcacoto–Acopalca, para lo cual se desarrollaron los siguientes capítulos:

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA; se describe y formula el problema, para luego plantear los objetivos y posteriormente las hipótesis.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO; se describe la metodología de cálculo de: Índice de Rugosidad Internacional con el equipo MERLIN, Costos de operación, velocidad de operación y mantenimiento.

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN; en este capítulo se plantea el diseño de investigación, se señala el tipo y nivel de investigación, la operacionalización de variables y las técnicas e instrumentos para el correcto desarrollo de la investigación.

² El término “MERLIN” es acrónimo de Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation” que significa “Maquina para evaluar la rugosidad con instrumentación de bajo costo”.

CAPITULO IV: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPOTESIS; en este capítulo se presentan los cálculos del índice de Rugosidad Internacional, la velocidad de operación, costos de operación y el mantenimiento; así como los análisis respectivos.

CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS; en este capítulo se presentan las respuestas a los objetivos obtenidas de los cálculos y algunas recomendaciones para futuras investigaciones.

El autor

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La Carretera Vilcacoto–Acopalca ubicada en el distrito de Huancayo, se encuentra en pésimas condiciones, lo que origina que los propietarios de vehículos, incluidas motocicletas, tengan que frecuentar los talleres de mecánica, según pobladores de la zona y transportistas, son más de 10 kilómetros descuidados por el Gobierno en turno. Asimismo, esta vía presenta nueve puentes a base de madera, por los que a diario los vehículos corren el riesgo de experimentar un accidente.

Esta vía es parte de la carretera que permiten la integración de todas las poblaciones que une el tramo Palian, Vilcacoto, Acopalca, Abra Huaytapallana, Pariahuanca, destacable por su longitud y cobertura; y es uno de los factores que ha propiciado su desarrollo socio-económico.

Entre las deficiencias que presentan la carretera Vilcacoto-Acopalca son: Sección transversal inadecuada, baches, surcos de rueda o ahuellamientos, deficiencias en la capacidad de soporte, ondulaciones, drenaje inadecuado, pérdida de finos, deficiencias en la capacidad de soporte, pendiente inadecuada, capas granulares de mala calidad, exceso de polvo, plataforma mal drenada y sin inclinación transversal.

La magnitud de las irregularidades superficiales que presenta la carretera tiene incidencia en los costos de operación vehicular, puesto que afectan la velocidad de circulación y producen un mayor desgaste de las llantas y componentes mecánicos de los vehículos.

El estado de la carretera de la mayoría de provincias del país deja mucho que desear. Basta con recorrer cualquier localidad de la costa, sierra o selva para comprobarlo.

El Índice de Regularidad Internacional mide las irregularidades longitudinales que se presentan en una vía, afectando adversamente a la calidad del rodado, la seguridad y los costos de operación de los vehículos.

Los valores de IRI³: en las vías con pocas irregularidades presentan valores medidos bajos, y su condición funcional es buena; por el contrario, vías con muchas irregularidades presentan valores altos, y su condición funcional es mala. En dos referencias consultadas, se establece que las vías afirmadas en condición muy buena o buena presentan valores entre 3.5 y 10, permitiendo velocidades de circulación de hasta 60 km/hora en tramos rectos.

1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Espacial

El área de influencia del proyecto comprende la comunidad de Vilcacoto, distrito y provincia de Huancayo, departamento de Junín se encuentra ubicado al Norte de la Ciudad de Huancayo. El mismo que ocupa la parte central del Perú, Se encuentra a una altitud de 3,441 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas son Latitud Sur: 12° 0' 47.7" S (-12.01324328000) y Longitud Oeste: 75° 10' 52.9" W (-75.18134802000). A 30 minutos de la ciudad de Huancayo.

³ IRI: Índice de rugosidad internacional

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio del proyecto comprende la zona urbana de la comunidad de Vilcacoto.

- **Ubicación Política**

Región: Junín

Provincia: Huancayo

Distrito: Huancayo

Localidad: Comunidad Campesina de Vilcacoto

- **Ubicación Geográfica**

Latitud: 12° 0'47.64"S

Longitud: 75°10'53.09"O

Altitud: 3,441 m.s.n.m.

- **Límites**

La comunidad campesina de Vilcacoto, tiene una extensión territorial de 537.30 km²., y tiene los siguientes límites:

Por el Norte: Cullpa

Por el Sur: Palián

Por el Este: Uñas

Por el Oeste: Cullpa

1.2.2. Temporal

Se desarrollará el estudio con una duración de 3 meses en la carretera Vilcacoto – Acopalca, en la ciudad de Huancayo – Perú.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. Problema General

¿Cuál es el efecto del índice de regularidad superficial en la variación del costo de operación vehicular, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017?

1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo el nivel de afirmado influye los intervalos del índice de regularidad superficial en la variación del costo de operación vehicular, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017?

- ¿Cómo el mantenimiento de la vía influye en la reducción del índice de regularidad superficial en la variación del costo de operación vehicular, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017?

- ¿Cómo la velocidad de vehículos ligeros y pesados son influenciados por el índice de regularidad superficial en la variación del costo de operación vehicular, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017?

1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Determinar el efecto del índice de regularidad superficial en la variación del costo de operación vehicular, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Calcular como el nivel de afirmado influye los intervalos del índice de regularidad superficial, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017.

- Analizar que tanto el mantenimiento de la vía influye en la reducción del índice de regularidad superficial, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017.
- Examinar que la velocidad de vehículos ligeros y pesados son influenciados por el índice de regularidad superficial, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017.

1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis General

¿El índice de regularidad superficial influye en la variación del costo de operación vehicular, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017?

1.5.2. Hipótesis Específicas

- ¿El nivel de afirmado interviene en los intervalos del índice de regularidad superficial, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017?
- ¿El mantenimiento de la vía influye en la reducción del índice de regularidad superficial, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017?
- ¿La velocidad de vehículos ligeros y pesados son afectados por el índice de regularidad superficial, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017?

1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Variable Independiente

Regularidad superficial

1.6.2. Variable Dependiente

Costo de operación vehicular

Velocidad de operación vehicular

Mantenimiento

1.6.3. Operacionalización de Variables.

Tabla 1 : Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL		
		DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VI: ÍNDICE DE REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI)	Desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje.	Índice de Regularidad Internacional	m/km , mm/m o pul/milla	MERLIN (Equipo de medición de rugosidad)
VD: COSTO DE OPERACIÓN VEHICULAR	Es lo que le cuesta al usuario, transportarse por una carretera durante el lapso de su vida útil. Dicho costo se calcula como la suma de los productos de los diferentes consumos del vehículo en un kilómetro de recorrido, por sus respectivos costos unitarios.	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de combustible. • Costos de aceite. • Costos de llantas. • Reparación de vehículos por daños incurridos al transitar por ella. • Costos de depreciación e interés 	Costo de transporte/Km	Formatos análisis de costos de transporte

Fuente: Elaboración propia

1.7. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Justificación

La presente investigación se justifica debido a las entidades encargadas de gestionar las vías de acceso locales, no cuentan en la actualidad con herramientas efectivas que les permitan una adecuada toma de decisiones respecto a la conservación de sus vías.

La magnitud de las irregularidades superficiales que presenta la carretera Vilcacoto - Acopalca tiene incidencia en los costos de operación vehicular, puesto que afectan la velocidad de circulación y producen un mayor desgaste de los neumáticos y componentes mecánicos de los vehículos, así como también mayor consumo de combustibles.

Además, se justifica en la necesidad de dar solución, a los bajos niveles de gestión que presentan las entidades responsables velar por el buen estado de las vías, utilizando el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y su relación con el costo de operación de vehículos, a fin de que se pueda determinar cuál sería la medida de rehabilitación más adecuada en base a un valor técnico. A través de la evaluación en campo, realizando mediciones, sobre el diseño geométrico, velocidad de circulación real, volumen de tráfico y de rugosidad con el equipo de MERLÍN se determinará los tramos representativos el valor de IRI, velocidad promedio de vehículos se determinará el efecto en el costo operación.

1.7.2. Importancia

La importancia de la presente investigación es lograr conciencia de las autoridades locales para que se deán cuenta que daños causa tanto económicas como sociales la carretera Vilcacoto-Acopalca.

Tomando en cuenta las necesidades económicas y sociales la importancia de la carretera Vilcacoto-Acopalca que logre un buen estado es esencial para el desarrollo de la zona en la cual tiene influencia directa, el estado del pavimento tiene influye en el costo de transporte de personas y mercancía por lo que impacta directamente en el bolsillo de los usuarios.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedente de la Investigación- Internacional

“Índice Internacional de Rugosidad en la red carretera de México” (Mario C. Arriaga Patiño, Paul Garnica Anguas y Alfonso Rico Rodríguez, 1998).

Se describió el concepto del Índice Internacional de Rugosidad, los procedimientos para el cálculo del mismo y su correlación con los equipos de medición de rugosidad. Se justifica porque la mayor contribución a la actividad de México es el transporte por carretera, por lo que es necesario que el transporte opere con base a parámetros de eficiencia. Se determinó algunas características del índice de rugosidad internacional y su necesidad de determinar el IRI⁴ para la conservación de la red nacional de México.

Una de las conclusiones más resaltantes es que es necesario implementar el Índice Internacional de Rugosidad para una mejor evaluación del estado superficial de los pavimentos. Se relaciona con la presente investigación al mencionar los costos de operación que genera el deterioro de una vía, al usuario.

“Análisis de Regularidad Superficial en Caminos Pavimentados”. (Mauricio Pradena Miquel, 2006)

⁴ IRI: Índice de rugosidad internacional

Realiza un artículo de investigación debido a que las mediciones de regularidad en un pavimento son muy utilizadas en la actualidad por las agencias viales, ya que, son muy sensibles a la percepción de los usuarios, lo cual está acorde con la actual visión de la Ingeniería Vial de considerar a estos como clientes. Esta investigación trata sobre la revisión del concepto, su importancia y terminología adecuada, la forma de medición y cálculo de la rugosidad, su consideración en el comportamiento de caminos pavimentados y en la forma de decisiones para una adecuada gestión vial. Determina que, un pavimento con menor Índice de rugosidad internacional inicial implica mayor vida útil y necesidad de menor intervención, lo cual es muy relevante ya que, en la práctica muchas veces los caminos pavimentados no son conservados oportunamente con lo que su deterioro se acelera y no prestan un nivel de servicio adecuado para el usuario.

Esta investigación se relaciona con la presente investigación, por tratar sobre la rugosidad y el índice de rugosidad internacional.

“Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos con equipo de bajo costo y gran precisión” (Pablo Del Águila Rodríguez, 1998)

Hace una investigación en la cual como su nombre indica se buscó determinar la rugosidad en las carreteras de Perú con un equipo de bajo costo, en específico con el equipo de MERLÍN. Para tal motivo se realiza una descripción de este equipo, la ejecución de ensayos y los cálculos correspondientes para determinar la rugosidad en la escala de IRI. Se relaciona con la presente investigación por la descripción del equipo y el desarrollo de los cálculos, ya que se utilizará el mismo equipo y una metodología similar.

“Determinación del Índice de Rugosidad Internacional de pavimentos usando el Perfilómetro Romdas z – 250”. (Juan Carlos Onofre Calderon, Julio Cesar Sanchez Perez y Walter Snatiago Viana, 2008)

Realizaron la tesis debido a la necesidad del uso de tecnología adecuada que permita dar soluciones eficientes en el mejoramiento de carreteras, ya que estas permiten el crecimiento económico.

Cabe resaltar que en la tesis se describe los conceptos relacionados al Índice de Rugosidad Internacional, así como los equipos usados para evaluar la rugosidad, dando énfasis en el Perfilómetro Romdas z – 250.

“Evaluación de aditivos químicos en la eficiencia de la conservación de superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas”. (Héctor Martín Choque Sánchez, 2012)

Realiza la investigación debido a que el deterioro de las carreteras no pavimentadas es más rápido con respecto a una vía pavimentada. Las partículas finas al aglutinarse con los agregados gruesos expuestos al medio ambiente pierden humedad; y con la acción física externa del tránsito vehicular genera disgregamiento superficial, convirtiéndose así en polvo particulado y posteriormente aparecen fallas superficiales como baches, ondulaciones, ahuellamientos, etc.; propuso aplicar aditivos químicos como alternativa de solución al deterioro acelerado, para lo cual se construyó sectores de prueba que estuvieron sujetos a las mismas condiciones climáticas, mismas condiciones geométricas de tráfico vehicular y del mismo tipo de suelo; para finalmente comparar y ver su desempeño en el tiempo por medio de dos indicadores: el índice de rugosidad internacional y el índice de condición en vía no pavimentada.

Se relaciona con la presente investigación por el análisis para carreteras no pavimentadas la cual es de interés para la investigación a realizarse.

2.1.2. Antecedente De La Investigación- Nacional

“Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú” (Jorge Montoya Goicochea, 2012).

En su tesis de postgrado menciona que la ecuación matemática del cálculo del índice internacional de rugosidad se desarrolló considerando las desviaciones con respecto a una superficie plana teórica (llana y no sinuosa), en la cual un vehículo podría transitar a 80 km/h. En tal sentido, considerando el fuerte trazo sinuoso y los fuertes cambios en la pendiente longitudinal necesarios para poder atravesar las cadenas montañosas que caracterizan la geografía peruana, es notorio indicar que existe una influencia, la cual dificulta que los procesos constructivos aseguren que los valores de rugosidad estén por debajo de los umbrales admisibles. También describe el control de la rugosidad que realizan las concesiones de las carreteras en el Perú. Concluye que, para las vías de penetración de nuestro país, el parámetro que influye más en el valor del IRI⁵ es la curvatura horizontal; debido a que en esta hay cuatro cambios de pendiente claramente identificables a comparación de la curva vertical, en la que hay solamente 3 cambios.

Asimismo, la cantidad de curvas horizontales, las cuales están en mucha mayor frecuencia que las curvas verticales. Se relaciona con la presente investigación, ya que la vía analizada no es una superficie plana.

2.1.3. Antecedente De La Investigación- Local

La recopilación de información no existe como tal sin embargo existen proyectos referidos a esta vía como:

«PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA DE LA REGIÓN JUNÍN»

Mg. Marleni María Aliaga Camarena-Gobierno Regional Junín, 2015

⁵ IRI: Índice de rugosidad internacional

Mejoramiento de la carretera departamental Junín -108 tramo: Palian-Vilcacoto-Acopalca-Abra Huaytapallana- Pariahuanca, provincia de Huancayo, departamento Junín. Que plantea como proyecto el Funcionamiento adecuado de la infraestructura vial, condiciones de mercado y precios favorables para los agricultores.

Lo cual hace estudios de la carretera Vilcacoto-Acopalca, para su mejora con el objetivo de mejorar la carretera, con estudios adecuados de Índice de Rugosidad.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Características De La Red Nacional De Carreteras

Nuestra red vial está clasificada en tres categorías: carreteras nacionales, departamentales y vecinales. Cuenta con un aproximado de 165,372.0 kilómetros de extensión, de los cuales 23,769.2 kilómetros se encuentran pavimentados (14.4% de la red total existente). La red nacional incluye 26,436.1 kilómetros (15.99%), la departamental 24,287.4 kilómetros (14.69%) y las vecinales 114,648.5 kilómetros (69.33%). [1]

La red vial nacional está conformada por tres grandes ejes longitudinales y diecinueve corredores transversales, tienen como misión vincular a las capitales de departamento, los principales centros productivos con las ciudades como centros de consumo y puertos marítimos como nodos del comercio exterior; constituyendo la base de todo el sistema de carreteras del país. El estado de situación de las vías nacionales nos indica que el 69.7% (18,420.1 Km.) se encuentran pavimentadas, el 20.7% se encuentra a nivel afirmado, el 3.88% sin afirmar y el 5.75% trocha. [1]

La red vial Departamental (24,287.4 Km. aproximadamente), comprende las rutas de importancia regional que articulan las capitales de departamento con las principales ciudades al interior de Región; sólo el 14.24% se encuentran pavimentadas, el 65.14%

es afirmada, el 10.5% sin afirmar y el 10.12% en condición de trocha (Ver Tabla 2). [1]

La Red Vial Vecinal (114,648.5 Km. aproximadamente) está conformada por las vías que enlazan a las capitales distritales y centros poblados importantes con la capital de la provincial; sólo el 1.65% de estas vías están pavimentadas, el 24.82% están afirmadas, el 23.7% sin afirmar y el 49.82% en condición de trocha. [1]

Tabla 2: Situación de las carreteras en el Perú al 31/12/2015.

RED VIAL DEL SINAC ⁶ (N° Rutas)	EXISTENTE POR TIPO DE RODADURA					PROYECTADA	TOTAL
	PAVIMENTADA	NO PAVIMENTADA			SUB TOTAL		
		Afirmada	Sin Afiramar	Trocha			
TOTAL	23769.2	49746.9	30767.2	61088.6	165372.0	6567.6	171939.6
	14.4%	30.1%	18.6%	36.9%	96.2%	3.8%	100.0%
NACIONAL (141)	18420.1	5471.0	1026.1	1518.8	26436.1	1636.9	28072.9
DEPARTAMENTAL (396)	3459.0	15821.6	2549.2	2457.6	24287.4	4266.6	28554.0
VECINAL (15906)	1890.1	28454.2	27191.9	57112.2	114648.5	111.2	114759.7

Fuente: Elaborado a partir de datos del MTC⁷, informe estadístico 2015.

2.2.2. Carreteras Pavimentadas Y No Pavimentadas

2.2.2.1. Caminos Pavimentados

Las carreteras con superficie de rodadura pavimentada según el Manual de carreteras EG⁸-2013 [2], son identificadas como sigue:

⁶ SINAC: Sistema Nacional de Carreteras

⁷ MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

⁸ EG-2013: Especificaciones técnicas generales para construcción.

a. Pavimentos flexibles:

a.1. Compuestos por capas granulares (sub base y base drenantes) y una superficie de rodadura bituminosa en frío como: tratamiento superficial bicapa, lechada asfáltica o mortero asfáltico, micropavimento en frío, macadam asfáltico, carpetas de mezclas asfálticas en frío, etc.

a.2. Compuestos por con capas granulares (sub base y base drenantes) y una capa de rodadura bituminosa de mezcla asfáltica en caliente de espesor variable según sea necesario.

b. Pavimentos semirrígidos: conformados con capas asfálticas (base asfáltica y carpeta asfáltica en caliente); también se considera como pavimento semirrígido, la estructura compuesta por carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con cemento o base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido, se ha incluido también los pavimentos adoquinados.

c. Pavimentos rígidos: conformado por losa de concreto de cemento hidráulico y una subbase granular para uniformizar las características de cimentación de la losa.

2.2.2.2. Caminos No Pavimentados

Aquellas que tienen una superficie de rodadura de tierra, grava y carreteras afirmadas con material granular y/o estabilizados, con trabajos previos de alineación, con apropiada sección transversal y longitudinal, y adecuado drenaje; que son construidos por la necesidad de acceder a lugares remotos [2]. Según el MTC⁹ tenemos:

a) Caminos de tierra, constituido por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo.

⁹ MTC: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

b) Caminos de grava (lastrados), constituidos por una capa de revestimiento con material natural pétreo, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75mm.

c) Caminos afirmados, constituidos por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificados naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo deseable del material 25 mm.

Los caminos afirmados comprenden los siguientes tipos:

c.1 Afirmados con gravas naturales o zarandeadas

c.2 Afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado

d) Caminos afirmados con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales:

d.1 Afirmados con grava tratada con materiales como: asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros

d.2 Suelos naturales estabilizados con: material granular y finos ligantes, asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros.

Es importante indicar que los criterios más importantes a fin de seleccionar la superficie de rodadura para una carretera afirmada, establecen que, a mayor tránsito pesado, medido en ejes equivalentes destructivos, se justificará utilizar afirmados de mayor rendimiento y que el alto costo de la construcción debe impulsar el uso de materiales locales para abaratar la obra, lo que en muchos casos podrá justificar el uso de afirmados estabilizados. También es importante establecer que la presión de las llantas de los vehículos, deben mantenerse bajo las 80 psi (libras por pulg²) de presión para evitar daños graves a la estructura de los afirmados.

2.2.2.3. Comportamiento De Caminos Pavimentados Y No Pavimentados

Este se mide por la calidad del servicio funcional y estructural que brinda durante un tiempo establecido. Generalmente nosotros los usuarios calificamos la calidad funcional, interesándonos principalmente la suavidad de la superficie, la seguridad y el aspecto general de la obra. Pero debemos agregar el comportamiento estructural, que es la capacidad del pavimento para soportar las cargas que impone el tránsito y ser capaz de resistir a los efectos del ambiente.

Las carreteras que se deterioran relativamente rápido necesitan mayor inversión, por lo que, con el desarrollo de carreteras pavimentadas y no pavimentadas. Las entidades responsables, como el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, deberán plantearse cuando intervenir y como medir el nivel de deterioro. Uno de los indicadores más conocidos que permite establecer la calidad del servicio de una carretera, es la serviciabilidad. Esta fue definida como la capacidad de un pavimento para servir al tránsito para el cual fue diseñado [3].

2.2.2.4. Deterioro En Carreteras Sin Pavimentar

a. Descripción del mecanismo de deterioro

El mecanismo de deterioro de un camino sin pavimentar a diferencia de las carreteras pavimentadas consiste en un proceso progresivo más acelerado. Los finos al mezclarse con la humedad aglutinan a las fracciones más gruesas, y bajo la acción abrasiva de los neumáticos (acción del tráfico) llegan a pulverizarse en condiciones secas. Estos finos pulverizados aparecen como material particulado en suspensión (polvo) y por la constante pérdida de éstos es que los agregados gruesos están de manera suelta ante la acción del tráfico, y es así que la superficie de rodadura comienza a desgastarse de manera progresiva dando lugar a la formación de las depresiones, baches, y ondulaciones.

Estos problemas estructurales y superficiales se presentan debido a la acción del tráfico y a las condiciones climáticas (lluvias, presencia de hielo, efecto del deshielo). El deterioro ocurre en varias etapas, desde un deterioro lento que no se percibe hasta un deterioro crítico donde se evidencia en una descomposición total del camino que involucra una nueva conformación o rehabilitación de la vía.

b. Defectos comunes en vías sin pavimentar

La condición de las carreteras sin pavimentar (afirmadas) se califica por sus deterioros o fallas siendo las más comunes:

- **Deformación:** El ahuellamiento debido a la deformación de la capa de grava y/o de la subrasante en las huellas del tráfico. El ahuellamiento debido al desgaste superficial en las huellas del tráfico. Los hundimientos localizados relacionados con la pérdida de capacidad de soporte de la subrasante. No se consideran en este rubro los surcos erosivos. Las posibles causas para esta falla pueden ser la insuficiencia estructural acentuada por un volumen de tráfico excesivo, geometría de la carretera (curvas agudas aumentan el desgaste superficial) o el clima y drenaje (un contenido de agua excesivo conlleva una reducción de la capacidad de soporte de la capa granular y de la subrasante).

Figura 1: Deformación en vía sin pavimentar.



Fuente: Elaborada Propia

- **Erosión:** Este rubro incluye los surcos erosivos creados por los escurrimientos de agua aproximadamente paralelos al eje de la carretera. Su gravedad resulta de la intensidad de los escurrimientos y del tipo del suelo (índice de plasticidad y granulometría). Puede provenir de las siguientes causas, topografía accidentada (fuertes pendientes y curvas aumentan la intensidad de los escurrimientos) o Clima y drenaje (un drenaje deficiente favorece los escurrimientos sobre la superficie de la carretera)

Figura 2: Erosión en vías afirmadas.



Fuente: Elaborada Propia

- **Baches (Huecos):** Resultan de aguas estancadas en la superficie de la carretera. El tráfico favorece su desarrollo.

Generalmente, estorban a los vehículos cuando su tamaño alcanza el orden de 0.20m. Su calificación estará de acuerdo con el tipo de medidas correctivas requeridas (mantenimiento rutinario, recapeo no reconstrucción). Las posibles causas son el mal drenaje de la superficie de la carretera o el clima.

Figura 3: Baches o huecos en vías afirmadas.



Fuente: Elaborada Propia

- **Encalaminado:** se trata de ondulaciones de la superficie. Resultan de la acción de las vibraciones transmitidas por los vehículos.

Figura 4: Encalaminado en vías sin afirmar.



Fuente: Elaborada Propia

- **Lodazal y cruce de agua:** Un lodazal es una sección de suelo fino que se caracteriza por su transitabilidad baja o intransitabilidad durante las épocas de lluvia. En épocas secas, si no se realizan las tareas de mantenimiento requeridas, los vehículos tienen dificultades debidas a las deformaciones del material. Las posibles causas y más frecuente es un drenaje deficiente.

Figura 5: Lodazal y cruce de agua.



Fuente: Elaborada Propia

2.2.2.5. Conservación Vial

Conjunto de operaciones necesarias para la preservación y mantenimiento de una carretera y de cada uno de sus elementos componentes y complementarios en las buenas condiciones para el tráfico compatibles con las características geométricas, capa de rodadura que tuvo cuando fue construida, o al estado último a que ha llegado después de las posibles mejoras que haya recibido a lo largo del tiempo.

a. Enfoque actual

Se trata de un cambio en la concepción tradicional de trabajo de actuar para reparar lo dañado, adoptándose una política de carácter preventivo para la conservación vial. Esto garantiza que los caminos nacionales y vecinales tengan los niveles necesarios para una adecuada circulación vial en todas las épocas del año.

b. Importancia en la conservación vial

Es importante mantener los caminos porque permite:

- Garantizar un confort adecuado y seguridad al usuario.
- Ahorro en los costos de operación de vehículos.
- Disminuye el tiempo perdido en el viaje.
- Mantiene la inversión en las etapas de construcción, reconstrucción o rehabilitación.

c. Ciclo de vida de un camino

Los deterioros de un camino, como ya se ha mencionado, se deben en principio al efecto del agua y del tráfico. Estos influyen en el progreso de desgaste y en la transitabilidad. Por eso el mantenimiento debe hacerse sostenidamente en el tiempo de manera preventiva, para así poder extender el tiempo de vida útil y reducir las inversiones en mantenimientos periódicos y no llegar a

la reconstrucción. El ciclo de deterioro de un camino consta de cuatro fases:

- Fase 1: Construcción.

En esta fase el camino se encuentra en excelentes condiciones para la satisfacción de los conductores.

- Fase 2: Deterioro lento y poco visible.

El camino presenta desgaste después de un tiempo, donde se evidencia de manera significativa el deterioro de la superficie de rodadura. Durante esta fase el camino se encuentra en buen estado.

- Fase 3: Deterioro acelerado.

Aquí la carretera presenta mayor desgaste en la superficie de rodadura y en los demás elementos de la carretera. Se evidencia el deterioro acelerado y cada vez resiste menos al tránsito vehicular. Los daños comienzan a hacerse puntuales y en el tiempo se van extendiendo hasta afectar al camino. Tiene corta duración y es el comienzo de la aceleración del deterioro superficial.

- Fase 4: Descomposición Total

En esta fase los vehículos elevan sus costos de operación y tienen dificultades para circular. La capacidad del camino se ve reducida afectando así a los vehículos en los neumáticos, ejes, amortiguadores y el chasis.

d. Mantenimiento vial y su relación con la rugosidad

Las características funcionales de una vía tienen gran incidencia en las condiciones de seguridad y comodidad, lo que afecta económicamente a los costos de operación y mantenimiento. Las irregularidades que presenten las vías tienen relación directa con los costos de operación de los vehículos, por consiguiente, afecta la velocidad, el desgaste de las llantas y el consumo de combustible. Estas irregularidades aparte de ocasionar desgastes

en los vehículos modifican el estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura de la vía. La calidad de un pavimento se puede entender como la capacidad estructural que soporta a diferentes solicitaciones, asimismo como la comodidad que siente el usuario al transitar sobre el pavimento.

Se cuantifica ésta capacidad efectuándose métodos debidamente normados tales como: la extracción de testigos, ensayos de calidad de agregados, ensayo de abrasión, etc. y la comodidad del usuario se cuantifica en forma relativa de acuerdo a su percepción, la cual tiene relación directa con las irregularidades superficiales del pavimento.

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI), fue aceptado como estándar de medida de la regularidad superficial de un camino por el Banco Mundial en el año 1986, siendo obtenida por medio de una correlación con cualquier equipo de medición de rugosidad. El IRI puede ser entendido como una especificación de construcción o el estado del pavimento, está orientado al mantenimiento cuya incidencia se centra en funciones de aspectos económicos (IRI vs costos de usuarios), sociales (opinión de los usuarios) y técnicos (gestión de carreteras, costos de conservación vs costo Unitario).

e. Comportamiento típico de la condición superficial en función del IRI

Los factores que afectan la condición superficial (de manera principal el tráfico de vehículos y las precipitaciones pluviales) ocasionan una disminución no lineal en la calidad superficial en función de la rugosidad dividiéndose en tres etapas, donde la primera tiene un deterioro poco significativo en los primeros años; la segunda presenta desgaste más acusado y la tercera significa una etapa de deterioro acelerado, en pocos años el nivel de servicio cae de forma importante, por esta razón va a llegar a un costo

significativo de mantenimiento del camino y como límite puede ser necesaria una reconstrucción total del mismo.

f. Evaluación de las condiciones de la vía

La condición de la superficie de la vía está relacionada con varios factores como: Integridad estructural, capacidad estructural, fallas o defectos y su nivel de deterioro.

La evaluación cualitativa y/o cuantitativa de algunos factores puede exigir uso de equipos costosos. Pero estos factores pueden evaluarse en forma empírica mediante la observación, para esto se debe tener en cuenta la experiencia de campo del profesional encargado.

Estas observaciones pueden plasmarse en el Índice de la condición de la vía no pavimentada (ICVNP): basado en una escala que va desde 0 hasta 100. Con esto se indica la integridad de la vía y sus condiciones de operación, se determina a través de la medición de los defectos de la superficie de la vía.

g. Niveles de intervención

Son las actividades que se realizan en la vía con la finalidad de evitar el deterioro de la infraestructura del camino, tiene diversos niveles que van desde una intervención sencilla hasta una más costosa.

- Obras de conservación rutinaria: actividades de carácter preventivo que se ejecutan para conservar la calzada, el sistema de drenaje, la señalización y obras de arte. En general se realizan durante todo el año para evitar el deterioro de la vía y garantizar la transitabilidad.

- Obras de conservación periódica: acciones que se realizan para reconformar y restablecer las características en la superficie de rodadura. Generalmente se repiten en periodos de más de un año de acuerdo a la influencia del tráfico.

- Obras de conservación puntual: son trabajos aislados que corrigen un defecto funcional o estructural. Del mismo modo también sirve para eliminar un riesgo que se pueda prevenir.
- Trabajos de emergencia: conjunto de actividades que se realizan para devolver la transitabilidad en una vía donde ha sido afectada por eventos extraordinarios o fuerza mayor.

2.2.3. Índice De Rugosidad Internacional De Pavimentos Afirmados

2.2.3.1. ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD

La AASTHO¹⁰ desarrolló una prueba en 1959 en la que se estableció la serviciabilidad a partir del promedio de las evaluaciones de todos los usuarios. Este promedio da origen al índice conocido como Present Serviciability Rating (PSR). Entonces, como la serviciabilidad es la percepción que tienen los usuarios del nivel de servicio del pavimento se definió una escala de evaluación de 0 a 5. En ella una evaluación con nota 5 significa una superficie perfecta, mientras que una nota 0 significa intransitable.

Tabla 3 : Escala de índice de Servicialidad

Índice de Serviabilidad	Calidad
5	Muy Buena
4	Buena
3	Regular
2	Mala
1	Pésima
0	

Fuente: AASTHO, 1993

Para disminuir el carácter subjetivo de este índice se relacionaron estas evaluaciones con ciertas características físicas del pavimento que

¹⁰ AASTHO: American Association of State Highway Officials.

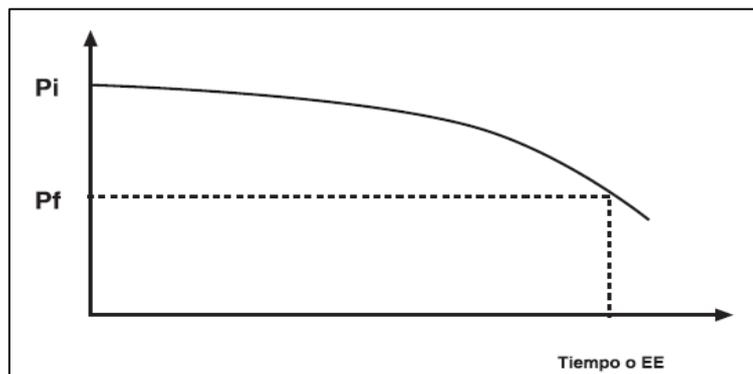
pueden medirse objetivamente. De esta manera se obtiene el denominado PSI¹¹.

La calificación del estado de un pavimento a través del PSI es el resultado de una apreciación visual de la condición superficial de un pavimento.

La Serviciabilidad Inicial (P_i) es la condición de una vía recientemente construida.

La Serviciabilidad Terminal (P_f) es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción.

Figura 6: Curva del comportamiento de un pavimento.



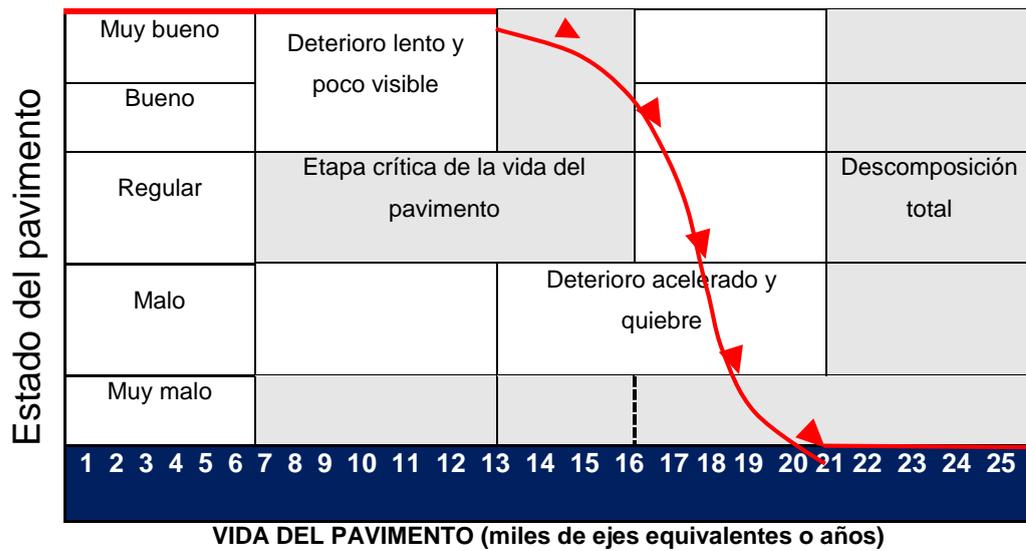
Fuente: Análisis de Regularidad Superficial en Caminos Pavimentados, 2006 [4]

La AASHTO desarrollo una prueba en 1959 en la que estableció la serviciabilidad a partir del promedio de las evaluaciones de todos los usuarios, este promedio da origen al Present serviciability rating. Para disminuir el carácter subjetivo de este índice, se relacionaron estas evaluaciones con ciertas características físicas del pavimento que pueden medirse objetivamente.

De esta manera se obtiene el denominado Present Serviciability Índice, PSI (Índice de Serviciabilidad Presente). En definitiva, es posible reemplazar la calificación subjetiva de serviciabilidad por un índice numérico calculado a partir de variables física medibles (deterioros).

¹¹ PSI: Present Serviciability Index, que traducido es Índice de Serviciabilidad Presente.

Figura 7: Estado del pavimento vs vida del pavimento.



Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones, 2013 [2]

Como el comportamiento de un camino se puede asociar a valores del índice de serviciabilidad en distintos momentos del mismo, entonces es posible definir ciertos valores del indicador para la toma de decisiones. La Tabla siguiente muestra algunos valores de referencia para pavimentos nuevos y nivel de restauración para el Índice de Serviciabilidad (p) tal como lo define AASHTO.

Tabla 4: Índices de serviciabilidad de referencia.

CONDICIÓN	ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD (P)
Pavimento asfáltico nuevo	4.2
Pavimento hormigón nuevo	2.5
Nivel de restauración más exigente	2.5
Nivel de restauración	2

Fuente: AASHTO

En las ecuaciones para determinar el Índice de Serviciabilidad Presente (ISP), se incluyen, dependiendo del tipo de pavimento, mediciones de ahuellamiento, agrietamiento, baches e irregularidades del pavimento;

siendo esta última la que domina los valores estimados de serviciabilidad.

Esto significa que las irregularidades del pavimento tienen el mayor efecto en la evaluación de los usuarios que califican la calidad de rodado. De acuerdo a lo anterior es que muchas agencias viales relacionan el Índice de Serviciabilidad con mediciones de la regularidad del pavimento.

Entonces, como es posible representar el comportamiento de un pavimento en el tiempo a partir de valores del índice de serviciabilidad, en la práctica también se puede representar dicho comportamiento a través de la rugosidad del pavimento.

En las ecuaciones para determinar el Índice de Serviciabilidad Presente (ISP), se incluyen, dependiendo del tipo de pavimento, mediciones de ahuellamiento, agrietamiento, baches e irregularidades del pavimento; siendo esta última la que domina los valores estimados de serviciabilidad. Esto significa que las irregularidades del pavimento tienen el mayor efecto en la evaluación de los usuarios que califican la calidad de rodado. De acuerdo a lo anterior es que muchas agencias viales relacionan el Índice de Serviciabilidad con mediciones de la regularidad del pavimento.

Entonces, como es posible representar el comportamiento de un pavimento en el tiempo a partir de valores del índice de serviciabilidad, en la práctica también se puede representar dicho comportamiento a través de la regularidad del pavimento (rugosidad).

2.2.3.2. RUGOSIDAD

Rugosidad es la desviación de una determinada superficie de pavimento respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo y la calidad al manejar [5].

Son alteraciones de perfil longitudinal de una vía, que provocan vibraciones en los vehículos que lo recorren. Es la desviación de la superficie respecto a una superficie plana, con dimensiones características que afectan la dinámica del vehículo y la calidad al andar [6].

La rugosidad se determina en base al concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto a una cuerda promedio. Esta se diferencia de otras medidas de las características geométricas de la superficie como la macrotextura y microtextura, debido a las longitudes de onda y amplitudes de las irregularidades en el sentido longitudinal de la carretera, como se indica en la siguiente tabla propuesta en el XVIII Congreso Mundial de Carreteras (Bruselas, 1987) por el Comité técnico de características superficiales de la Asociación Mundial de Carreteras.

Tabla 5: Clasificación de las características geométricas de la superficie de los pavimentos.

DOMINIO		RANGO DE DIMENSIONES (APROX.)	
		LONGITUDES DE ONDA (horizontal)	AMPLITUD (vertical)
Microtextura		0 - 0.5 mm	0 - 0.2 mm
Macrotextura		0.5 - 50 mm	0.2 - 10 mm
Megatextura		50 - 500 mm	1 - 50 mm
Regularidad Superficial	Ondas cortas	0.5 - 50 mm	0.2 - 10 mm
	Ondas medias	5 - 15 mm	5 - 50 mm
	Ondas largas	15 - 50 mm	10 - 200 mm

Fuente: Análisis de Regularidad Superficial en Caminos Pavimentados, 2006 [3]

Las texturas dependen básicamente de los materiales utilizados (textura superficial, granulometría y tamaño máximo) y la matriz (mezclas bituminosas o concreto) y los defectos de irregularidad superficial, que se manifiestan mediante unas ondas de mayor longitud, son debidas a la puesta en obra (extensión, compactación) a deformaciones de la estructura por el tráfico o a deformaciones de la capa de rodadura.

Además, su influencia en los fenómenos de interacción ente neumático y pavimento son distintas. Mientras las texturas se asocian a resistencia al deslizamiento, la regularidad superficial (rugosidad) se asocia a la calidad y comodidad de la rodadura de los vehículos.

Uno de los problemas que se tenía a la hora de evaluar la calidad y comodidad de la rodadura de los vehículos y comparar experiencias entre países, era la gran diversidad de técnicas, equipos e indicadores existentes en cada uno de ellos.

Por tal motivo se planteó a nivel internacional desarrollar un índice único y común al que referirse, que fuera independiente del equipo o técnica de obtención de la geometría del perfil y que además representara significativamente el conjunto de las percepciones de los usuarios circulando en un vehículo medio a una velocidad media.

El índice internacional de rugosidad, mejor conocido como IRI (International Roughness Index), fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de rodadura de un camino.

En el ámbito internacional existe disparidad en la utilización del término, mientras algunos utilizan la palabra rugosidad (Índice de Rugosidad Internacional) otros se refieren a Regularidad (Índice de Regularidad Internacional), para la presente investigación se utilizará el termino rugosidad.

La medida se realiza en la superficie a través del perfil longitudinal, aunque se debe clarificar que no necesariamente los orígenes de las deformaciones están en la superficie, sino que se pueden producir en toda la estructura del pavimento o afirmado. Independientemente del origen de la deformación, el IRI, por definición considera las irregularidades de la superficie.

En la década de los 70's, el Banco Mundial financió diferentes programas de investigación a gran escala, entre los cuales se encontraba un proyecto relacionado con la calidad de las vías y los costos a los usuarios, a través del cual se detectó que los datos de regularidad superficial de diferentes partes del mundo no podían ser comparados. Aún datos de un mismo país no eran confiables, debido a que las mediciones fueron realizadas con equipos y métodos que no eran estables en el tiempo.

Con el objetivo de unificar los parámetros que se utilizaban en diferentes países para determinar la regularidad superficial de las carreteras, se realizó en Brasil en 1982, el proyecto International Road Roughness Experiment (IRRE), promocionado por el Banco Mundial; en el cual participaron equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica. En este proyecto se realizó la medición controlada de la regularidad superficial de pavimentos para vías bajo diferentes condiciones y con una variedad de instrumentos y métodos. A partir de dicho proyecto, se seleccionó un parámetro de medición de la regularidad superficial denominado Índice de Regularidad Internacional (IRI, International Roughness Index).

De esta manera se definió como: "El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80, Reference Average Rectified Slope, razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS, Reference

Quarter Car Simulation), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h”.

En términos más sencillos, el IRI es un modelo matemático, el cual calcula el movimiento acumulado en la suspensión de un vehículo de pasajero típico, al recorrer una superficie del camino a una velocidad de 80 km/h. [7].

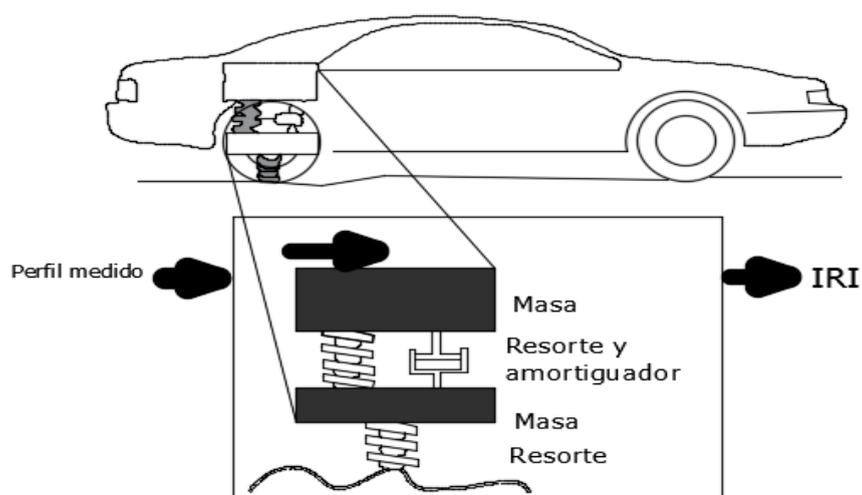
2.2.3.3. Modelo del cuarto de carro

Llamado también Golden car, simula que al avanzar este modelo a una velocidad determinada (80 km/h) e ir siguiendo las irregularidades del camino, las masas se mueven en vertical (simulando el asiento del conductor).

Por lo tanto, se define como el “Movimiento vertical (desplazamiento) de las diferencias acumuladas de las masas superior e inferior divididos por el incremento de longitud del camino recorrido”.

En la Figura siguiente se observa una llanta representada con un resorte vertical, la masa del eje sostenida por la llanta, el resorte de suspensión y el amortiguador, y la masa de la carrocería del vehículo sostenida por la suspensión de esa llanta. [8]

Figura 8: Modelo cuarto de carro o Golden car.



Fuente: Adaptación de [9]

El IRI representa el efecto sobre el vehículo del usuario del camino que tienen las desviaciones de la superficie del pavimento (causa) respecto a una superficie plana teórica con dimensiones suficientes para afectar la dinámica del vehículo y la calidad al manejar.

De lo anterior se deduce que no todas las dimensiones de irregularidades superficiales afectan la dinámica del vehículo y la calidad al manejar. En efecto, las distintas características superficiales de los pavimentos tienen diferentes influencias en los fenómenos de interacción entre vehículo y pavimento.

2.2.3.4. Consideraciones e implicaciones de la medición del índice de rugosidad (IRI)

El IRI se determina mediante cálculo matemático realizado con las ordenadas o cotas de una línea longitudinal cuyo resultado es independiente de la técnica o equipo utilizado para obtener el perfil.

Es importante considerar la representatividad de las ordenadas que se introducen, es decir, la confiabilidad de la técnica o equipo con el que se obtiene el perfil o la frecuencia del muestreo utilizado.

2.2.3.5. Métodos y equipos de evaluación

Actualmente en el mundo existe una diversidad de equipos de medición de la rugosidad, de diversos costos, rendimientos y sistemas de adquisición de datos, cada uno con una escala de medición propia; por ello, con la correlación de todos estos equipos al Índice Internacional de Rugosidad, es posible obtener un solo parámetro de medición para conocer el estado actual de la superficie de rodadura. Los métodos de medición se pueden agrupar en cuatro clases:

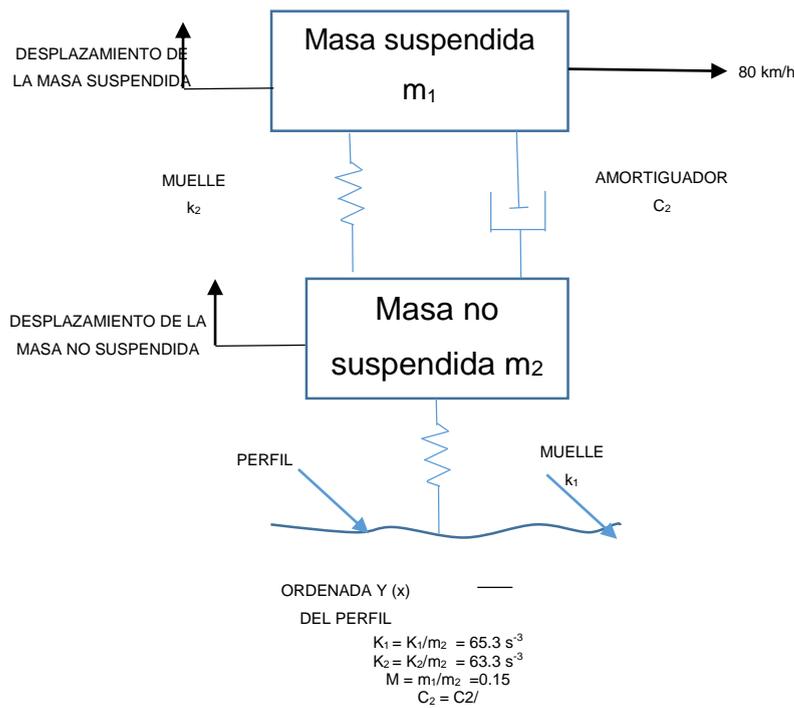
2.2.4. Modelo Matemático Del Índice Regularidad Internacional

Las ecuaciones diferenciales que expresan los movimientos de las masas suspendidas y no suspendidas son:

$$m_2 \ddot{v} + c_2(\dot{v} - \dot{u}) + k_2(v - u) = 0$$

$$m_2 \ddot{v} + m_1 \ddot{u} + k_1(u - y) = 0$$

Figura 9: Modelo Matemático Del Índice De Regularidad Internacional



Fuente: NLT12-330/98

Siendo m_1 , m_2 , k_1 , k_2 y c_2 , las constantes del cuarto coche e “y” es la cota del perfil recorrido, según la experimenta la rueda del vehículo (perfil suavizado)

Si el perfil se define por una serie de cotas a intervalos de longitud constante, una vez resuelto el sistema de ecuaciones diferenciales, los movimientos de las masas del cuarto coche quedan definidas de la siguiente manera [10]:

$$Z_{1,i} = S_{11}Z_{1,i-1} + S_{12}Z_{2,i-1} + S_{13}Z_{3,i-1} + S_{14}Z_{4,i-1} + P_1 \cdot \dot{y}$$

¹² NLT: Normas del Laboratorio de Transporte. Normas españolas.

$$Z_{2,i} = S_{21}Z_{2,i-1} + S_{22}Z_{2,i-1} + S_{23}Z_{3,i-1} + S_{24}Z_{4,i-1} + P_2 \cdot \dot{y}$$

$$Z_{3,i} = S_{31}Z_{2,i-1} + S_{32}Z_{2,i-1} + S_{33}Z_{3,i-1} + S_{34}Z_{4,i-1} + P_3 \cdot \dot{y}$$

$$Z_{4,i} = S_{41}Z_{2,i-1} + S_{42}Z_{2,i-1} + S_{43}Z_{3,i-1} + S_{44}Z_{4,i-1} + P_4 \cdot \dot{y}$$

Donde:

$Z_{1,i} = \Delta V / \Delta X$ para una posición i

$$\dot{y} = (y_i - y_{i-1}) / \Delta X$$

S_{ij} y P_i , son constantes que vienen fijadas por el tiempo necesario para que el cuarto coche recorra el intervalo ΔX a la velocidad de 80 Km/h.

Mediante estas ecuaciones se puede conocer las posiciones “u” y “v” de las masas de cuarto coche si se conocen las posiciones en el punto anterior.

Si no se conocen las condiciones iniciales del sistema se tomarán los siguientes:

$$Z_{1,0} = Z_{3,0} = (\tilde{y} - y_0) / 11$$

$$Z_{2,0} = Z_{4,0} = 0$$

Siendo \tilde{y} la cota del punto del perfil situado a 11 m del inicio

Conocidas las condiciones iniciales se puede calcular el RS_i .

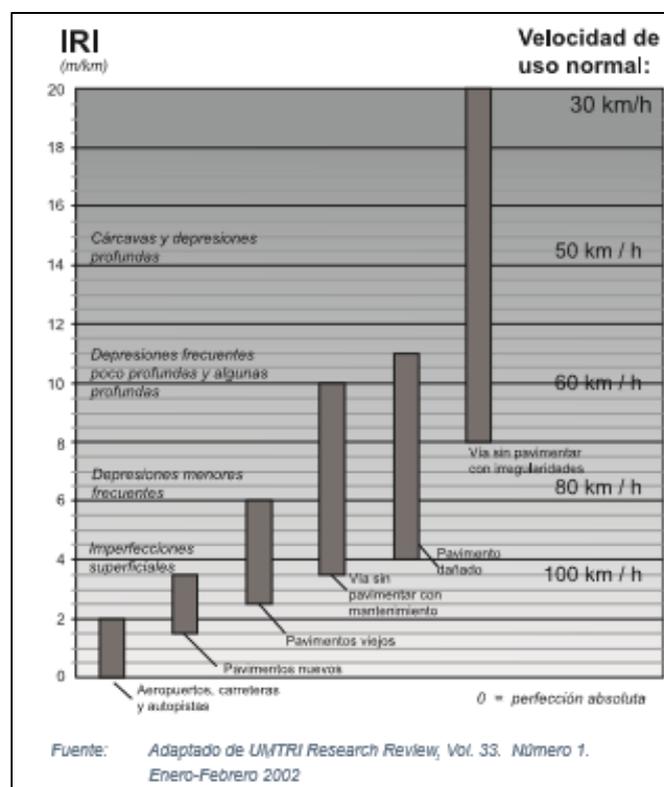
$$RS_i = |Z_{3,i} - Z_{1,i}|$$

$$IRI = \frac{1}{n} \sum RS_i$$

En donde:

- $n = 100 / \Delta X$

Figura 10: Escala Estándar Empleada Por El Banco Mundial Para La Cuantificación Del IRI En Diferentes Vías



Fuente: Adaptado de UMTRI13 Research Review, Vol. 33. Número 1. Enero-Febrero 2002

2.2.5. Clasificación De Los Equipos (Según El Banco Mundial, 1986)

2.2.5.1. Clase 1: Perfiles de precisión

Son los más exactos para medir el índice de rugosidad. Para métodos estáticos, el perfil longitudinal se debe medir en intervalos no mayores a 250 mm y la precisión en la elevación debe ser de 0.5 mm en pavimentos muy lisos, pudiéndose aumentar en pavimentos rugosos.

Los perfilómetros de alta velocidad deben ser validados contra un método como el de "mira y nivel", para probar su exactitud. En 1986,

¹³ UMTRI: University of Michigan Transportation Research Institute.

sólo el método de la “mira y nivel” y el de la viga TRRL¹⁴ se habían aceptado para validar otros métodos. Estos trabajos de validación se realizaron utilizando un rango de niveles de rugosidad amplia y en un tramo de 320 m.

2.2.5.2. Clase 2: Otros métodos perfilométricos

Son todos los otros equipos que no cumplen con los requerimientos de precisión y exactitud requeridos en la clase 1. Estos métodos de medición y hardware son calibrados por métodos independientes.

2.2.5.3. Clase 3: IRI estimado a partir de ecuaciones de correlación

El índice de rugosidad se estima a partir de ecuaciones de correlación. Este sistema de obtención del IRI fue muy practicado en los años 80 y 90, por medio de los equipos de respuesta dinámica. Las propiedades dinámicas son únicas para cada equipo y varía con el tiempo.

2.2.5.4. Clase 4: Evaluación subjetiva y equipos no calibrados.

El índice de rugosidad se obtiene a partir de una evaluación subjetiva (experiencia y evaluación visual) o mediciones no calibradas. Aplica para casos en donde no se exija mucha exactitud en el resultado del IRI [11].

¹⁴ TRRL: *Transport and Road Research Laboratory. (Laboratorio Británico de investigación de transportes y caminos).*

2.2.6. Determinación Del Índice De Rugosidad Internacional (IRI)

El IRI se determina mediante un cálculo matemático realizado con las ordenadas o cotas de una línea del perfil longitudinal, obtenidas por cualquier técnica o equipo de medida del perfil longitudinal.

La determinación de IRI no considera el perfil transversal, y si considera cualquier tipo de deterioro o singularidad (algún tipo de escalonamiento, baches, gran densidad de grietas y/o pérdida de materiales, entre otros) que afecten la medida del perfil longitudinal en las longitudes de onda entre 0.5 m y 50 m.

El IRI es calculado a partir de un solo perfil, y en este el movimiento de la suspensión simulada es acumulada y dividida por el largo del perfil para así obtener el valor de IRI; es de esta forma que el IRI es expresado generalmente en unidades m/km o in/mi.

2.2.6.1. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD

Para determinar la rugosidad en la presente investigación se utilizará el método con el equipo de MERLIN (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation) el cual fue desarrollado en el Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos, basándose en el principio del perfilómetro estático, con el objetivo de obtener un equipo de bajo costo, fácil manejo y un método de análisis simple con resultados confiables.

A pesar de la gran exactitud de los resultados que proporciona el MERLIN, sólo superada por la exactitud que proporciona el método topográfico, la desventaja del equipo es su bajo rendimiento si se compara con los rugosímetros dinámicos automatizados, tales como: el Bump Integrator, Mays Meter, Perfilómetro Laser, etc.

La gran cantidad de tiempo consumido en la toma de datos y cálculo del IRI, utilizando el método gráfico original establecido por el TRRL¹⁵, se hace más notoria cuando se trata de evaluar la rugosidad de vías de gran longitud (100 km o más) y se dispone de muy poco tiempo para ello.

Debido a que en los países latinoamericanos la oportunidad de empleo de los rugosímetros aún sigue siendo esporádica, lo que no justifica muchas veces la manutención de vehículos “ad hoc”¹⁶ destinados a la operación de equipos dinámicos y los costos de calibración relativamente altos, o a que las redes a ser evaluadas no son de gran extensión, el MERLIN constituye una buena alternativa, siempre y cuando sea resuelto el problema del bajo rendimiento (uso de métodos adecuados para medición y cálculo), más aun, cuando los resultados que proporciona son más exactos que los de cualquier equipo automatizado [12].

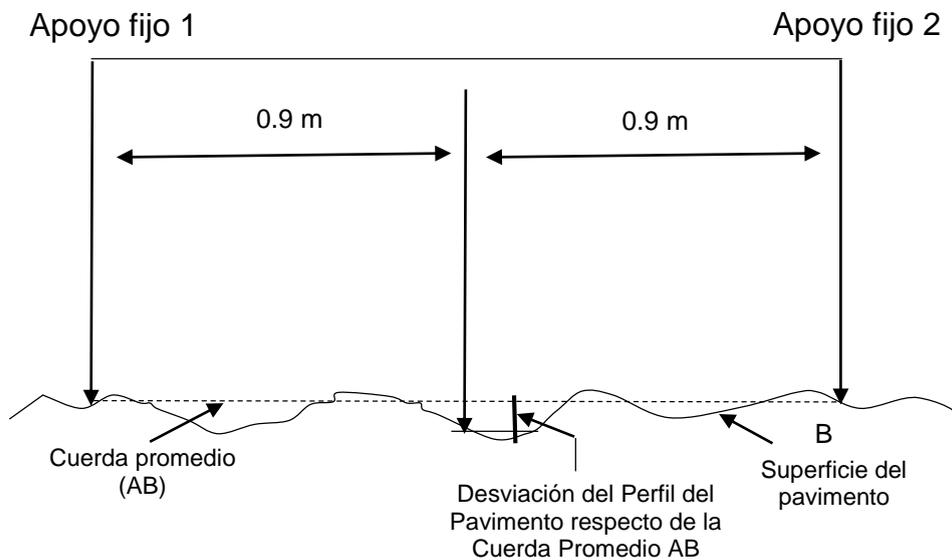
2.2.6.2. Fundamentos teóricos

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. La Figura 11 ilustra como el MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”.

¹⁵ TRRL: *Transport and Road Research Laboratory. (Laboratorio Británico de investigación de transportes y caminos).*

¹⁶ Ad hoc es una locución latina que significa literalmente «para esto».

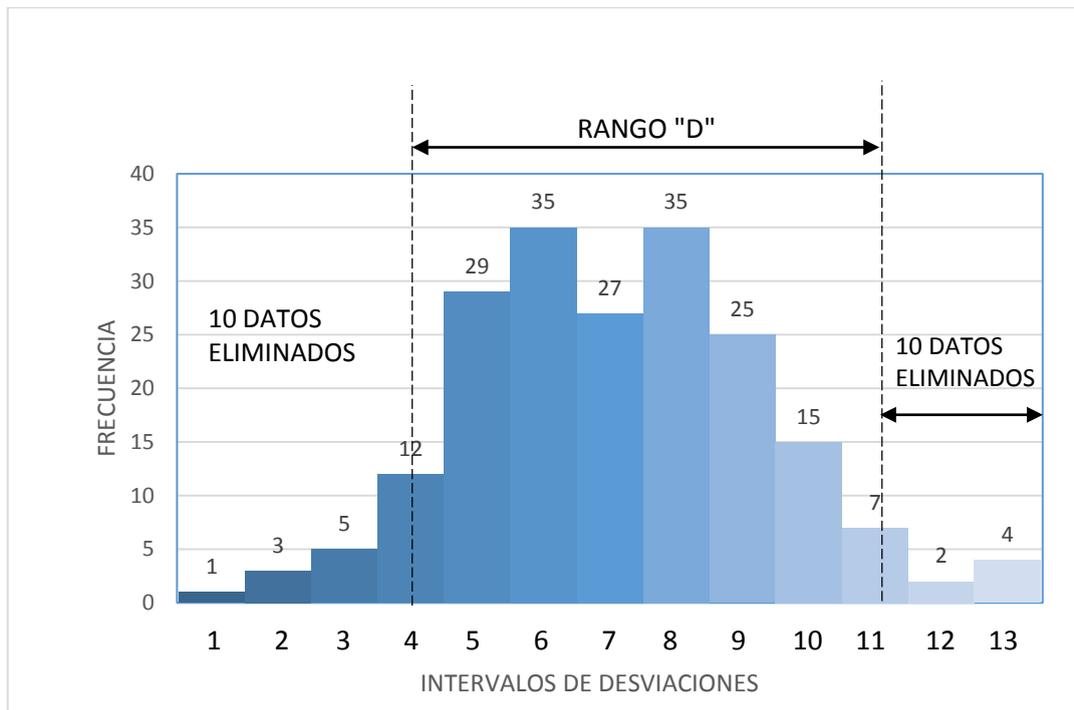
Figura 11: Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto a la cuerda promedio.



Fuente: Manual de Usuario MERLINER [12]

La longitud de la cuerda promedio es 1.80m, por ser la distancia que proporciona los mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición. Para dichas condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos. Si se define el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones, es posible medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad (Ver Figura 12). El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades MERLIN”.

Figura 12: Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva.



Fuente: Manual de Usuario MERLINER [12]

2.2.6.3. Método de medición con EQUIPO DE MERLÍN

El rugosímetro MERLÍN, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo. Fue introducido en el Perú por iniciativa personal de Pablo del Águila, existiendo en junio 1999 más de 15 unidades pertenecientes a otras tantas empresas constructoras y consultoras.

De acuerdo con la clasificación del Banco Mundial los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases, siendo los de Clase 1 los más exactos (Mira y Nivel, TRRL Beam, perfilómetros estáticos). La Clase 2 agrupa a los métodos que utilizan los perfilómetros estáticos y dinámicos, pero que no cumplen con los niveles de exactitud que son exigidos para la Clase 1. Los métodos Clase 3 utilizan ecuaciones de correlación para derivar sus resultados a la escala del IRI (Bump integrator, Mays meter). Los métodos Clase 4 permiten obtener resultados meramente referenciales y se emplean

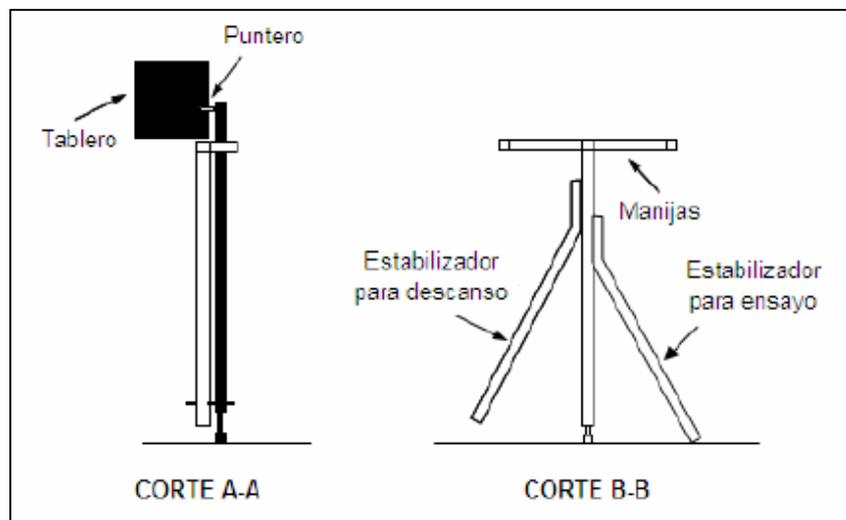
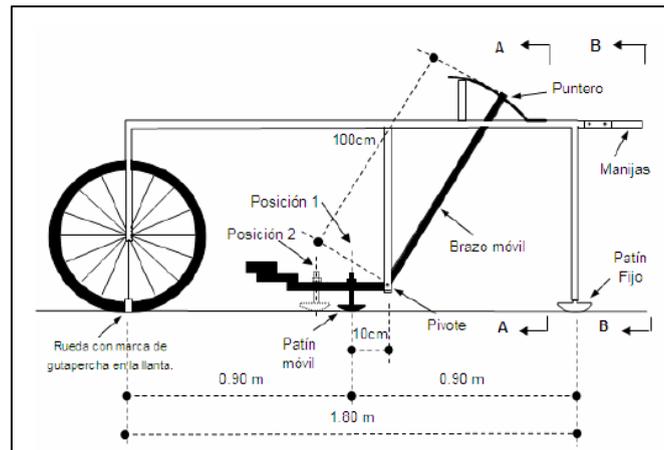
cuando se requieren únicamente estimaciones gruesas de la rugosidad.

El método de medición que utiliza el MERLÍN, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con el MERLÍN, con la escala del IRI¹⁷, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ($R^2=0.98$). Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.) lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros [12].

El MERLÍN es un equipo de diseño simple. La Figura 13 presenta un esquema ilustrativo del instrumento. Consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla.

¹⁷ IRI: Índice de rugosidad internacional

Figura 13: Equipo MERLÍN.



Fuente: Manual de Usuario MERLINER [12]

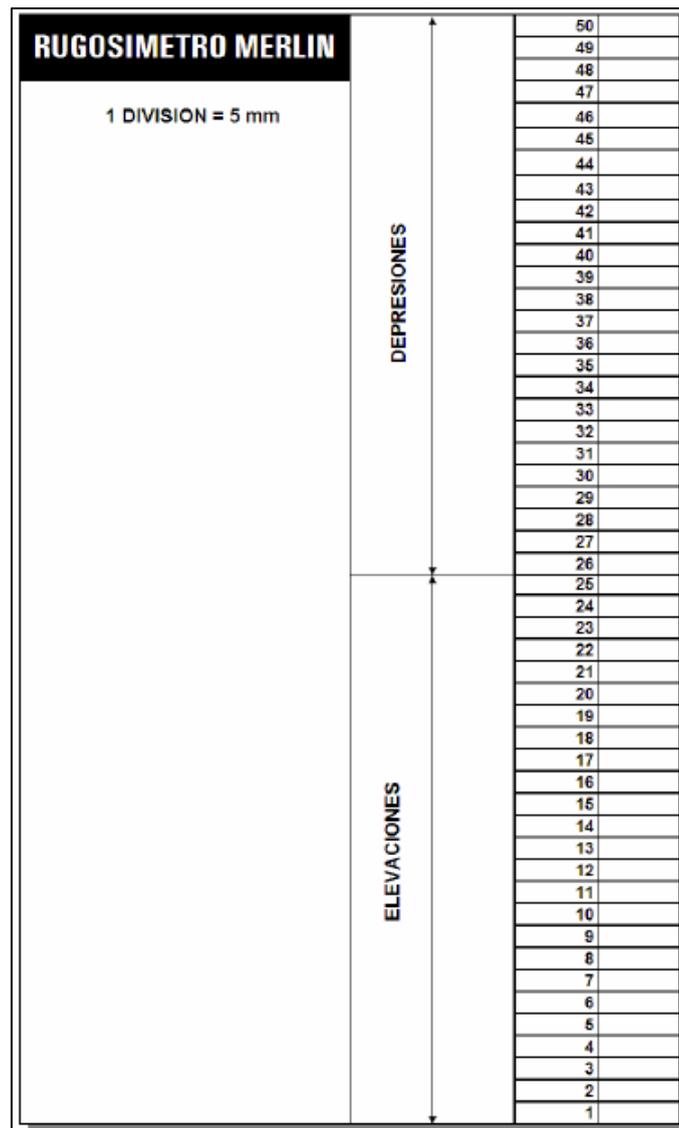
Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil.

El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín emperrado y ajustable, el cual se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento.

La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, de manera tal que un

movimiento vertical de 1 mm, en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero. Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cuál se desliza el puntero (Ver Figura 14).

Figura 14: Hoja de escala adherida al equipo para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto del nivel de referencia.



Fuente: Manual de Usuario MERLINER [12]

a. EJECUCIÓN DE ENSAYOS

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota. Asimismo, debe seleccionarse un trecho de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del MERLÍN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLÍN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo (Figura 14, Corte B-B). La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como el mostrado en el Figura 16. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero

se establezca y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar.

Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas. El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con tela fosforescente, por ejemplo), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

b. FACTOR DE CORRECCIÓN PARA EL AJUSTE D

Como se ha explicado, para la generación de los 200 datos que se requieren para determinar un valor de rugosidad, se emplea una escala arbitraria de 50 unidades colocada sobre el tablero del rugosímetro, la que sirve para registrar las doscientas posiciones que adopta el puntero del brazo móvil. La división N°25 debe ser tal que corresponda a la posición central del puntero sobre el tablero cuando el perfil del terreno coincide con la línea o cuerda promedio. En la medida que las diversas posiciones que adopte el puntero coincidan con la división 25 o con alguna cercana (dispersión baja), el ensayo demostrará que el pavimento tiene un perfil igual o cercano a una línea recta (baja rugosidad). Por el contrario, si el puntero adopta repetitivamente posiciones alejadas a la división N°25 (dispersión alta), se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada).

Figura 15: Formato para la recolección de datos de campo

ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLÍN
(HOJA DE CAMPO)

PROYECTO : _____ OPERADOR : _____
 SECTOR : _____ SUPERVISOR : _____
 TRAMO : _____ FECHA : _____

CARRIL : _____

ENSAYO N° HO :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											TIPOS DE PAVIMENTO
2											AFIRMADO <input type="checkbox"/>
3											BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>
4											BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/>
5											TRAT. BICAPA <input type="checkbox"/>
6											CARPETA EN FRIO <input type="checkbox"/>
7											CARP. EN CALIENTE <input type="checkbox"/>
8											RECAPEO(ASFALTICO) <input type="checkbox"/>
9											BELLO <input type="checkbox"/>
10											OTROS <input type="checkbox"/>
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

OBSERVACIONES: _____

Fuente: Manual de Usuario MERLINER [12]

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLÍN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma (Figura 12).

Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior.

Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos. En la Figura 12, por ejemplo, en el extremo inferior del histograma, se tiene que por efecto del descarte de los 10 datos se eliminan los intervalos 1, 2 y 3, y un dato de los doce que pertenecen al intervalo 4, en consecuencia, resulta una unidad fraccionada igual a $11/12=0.92$. Caso similar sucede en el extremo superior del histograma, en donde resulta una unidad fraccionada igual a $3/7=0.43$. Se tiene en consecuencia un Rango igual a $0.92+6+0.43=7.35$ unidades.

El Rango D determinado se debe expresar en milímetros, para lo cual se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros ($7.35 \times 5 \text{ mm} = 36.75 \text{ mm}$).

Para determinar el factor de corrección se hace uso de un disco circular de bronce de aproximadamente 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor, y se procede de la siguiente manera:

- Se determina el espesor de la pastilla, en milímetros, utilizando un calibrador que permita una aproximación al décimo de milímetro. El espesor se calculará como el valor promedio considerando 4 medidas diametralmente opuestas. Por ejemplo: el espesor medido es 6.2 mm.
- Se coloca el rugosímetro sobre una superficie plana (un piso de terrazo, por ejemplo) y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el patín móvil se

encuentra sobre el piso (por ejemplo, lectura=25). Se levanta el patín y se coloca la pastilla de calibración debajo de él, apoyándola sobre el piso.

Esta acción hará que el puntero sobre el tablero se desplace, asumiendo una relación de brazos estándar de 1 a 10, una distancia igual al espesor de la pastilla multiplicado por 10 (es decir: $6.2 \times 10 = 62$ mm), lo que significa, considerando que cada casillero mide 5 mm, que el puntero se ubicará aproximadamente en el casillero 12, siempre y cuando la relación de brazos actual del equipo sea igual a la asumida. Si no sucede eso, se deberá encontrar un factor de corrección (F.C.) usando la siguiente expresión:

$$F.C. = \frac{EP \times 10}{[(LI - LF) \times 5]}$$

Donde,

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

Por ejemplo:

Si la posición inicial del puntero fue 25 y la final fue 10, entonces el Factor de

Corrección será:

$$FC = (6.2 \times 10) / [(25 - 10) \times 5] = 0.82666$$

c. VARIACIÓN DE RELACIÓN DE BRAZOS

Para facilidad del trabajo, el rugosímetro admite dos posiciones para el patín del brazo pivotante (Ver Figura 13):

- Una posición ubicada a 10 cm del punto de pivote, posición standard que se utiliza en el caso de pavimentos nuevos o

superficies muy lisas (baja rugosidad). En ese caso la relación de brazos utilizada será 1 a 10.

- Una posición ubicada a 20 cm del punto de pivote, posición alterna que se utiliza en el caso de pavimentos afirmados muy deformados o pavimentos muy deteriorados. En ese caso la relación de brazos será 1 a 5. De usar esta posición, el valor D determinado deberá multiplicarse por un factor de 2.

d. CALCULO DEL RANGO D CORREGIDO

El valor D calculado en la sección 2.4.1, deberá modificarse considerando el Factor de Corrección ($FC=0.82666$) definido en la sección 2.4.2 y la Relación de Brazos empleada en los ensayos ($RB=1$). El valor D corregido será $36.75 \text{ mm} \times 0.82666 \times 1 = 30.38 \text{ mm}$. Este valor llevado a condiciones estándar es la rugosidad en “unidades MERLÍN”.

e. DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD EN LA ESCALA IRI

Para transformar la rugosidad de unidades MERLÍN a la escala del IRI, se usa las expresiones (1) y (2). Aplicando la expresión para el caso de $IRI < 2.5$, se obtiene finalmente, para el ejemplo seguido, una rugosidad igual a 1.47 m/km.

f. CORRELACIONES D VS IRI

Para relacionar la rugosidad determinada con el MERLIN con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que es el parámetro utilizado para uniformizar los resultados provenientes de la gran diversidad de equipos que existen en la actualidad, se utilizan las siguientes expresiones:

- a. Cuando $2.4 < IRI < 15.9$, entonces $IRI = 0.593 + 0.0471 D$
- b. Cuando $IRI < 2.4$, entonces $IRI = 0.0485 D$

La expresión **a.** es la ecuación original establecida por el TRRL¹⁸ mediante simulaciones computarizadas, utilizando una base de datos proveniente del Ensayo Internacional sobre Rugosidad realizado en Brasil en 1982. La ecuación de correlación establecida es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio, con superficie de rodadura asfáltica, granular o de tierra, siempre y cuando su rugosidad se encuentre comprendida en el intervalo indicado.

La expresión **b.** es la ecuación de correlación establecida de acuerdo a la experiencia peruana y luego de comprobarse, después de ser evaluados más de 3000 Km de pavimentos, que la ecuación original del TRRL no era aplicable para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o poco deformados. Se desarrolló entonces, siguiendo la misma metodología que la utilizada por el laboratorio británico, una ecuación que se emplea para el control de calidad de pavimentos recién construidos.

Existen otras expresiones que han sido estudiadas para el caso de superficies que presentan cierto patrón de deformación que incide, de una manera particular, en las medidas que proporciona en MERLIN. M.A. Cundill del TRRL estableció en 1996, para el caso de superficies con macadam de penetración de extendido manual, la siguiente expresión:

$$IRI = 1.913 + 0.049D$$

¹⁸ TRRL: *Transport and Road Research Laboratory. (Laboratorio Británico de investigación de transportes y caminos).*

2.2.7. Método de Queensland costo de operación.

2.2.7.1. Técnicas e instrumentos de recolección de los datos método de Queensland costo de operación.

Se recolectó información de diversas fuentes digitales o impresas, para el desarrollo del marco teórico.

Para el cálculo de índice de rugosidad, se realizó el ensayo con el equipo MERLIN, se tomaron los datos cada 2 m, de acuerdo al procedimiento descrito en el marco teórico. Tomando el tramo de 10.46 km de la carretera Vilcacoto - Acopalca-

También se realizó el conteo de tráfico para la vía en estudio, para lo cual se tomaron los datos durante 7 días, de acuerdo a la recomendación manual de Ministerios de Transportes, haciendo uso del formato de conteo de tráfico descrito.

2.2.7.2. Técnicas Para El Procesamiento De La Información

Obtenidos los datos del ensayo MERLÍN, se procederá a realizar el cálculo del índice de rugosidad internación en la escala de MERLÍN para lo cual nos apoyamos en el Microsoft Excel, para tramos de 200 m.

Teniendo los Índices de Rugosidad Internacional para cada tramo de carretera se calculará, el IRI promedio y el IRIC¹⁹ que nos indica el Manual de carreteras – Conservación vial.

Para el caculo de la velocidad de operación y los costos de operación para los cuatro tipos de vehículos que transitan dicha vía, se tomó como referencia la metodología descrita en el Manual de Análisis de costo beneficio de carreteras, presentado por el Gobierno de Queensland y descrito en las bases teóricas.

2.2.8. Velocidad De Operación

¹⁹ IRIC: Índice de rugosidad internacional característico.

La velocidad de operación es la velocidad media estimada para cada tipo de vehículo en un camino particular, una vez que se realicen ajustes para la congestión y otras características de la carretera. La velocidad de funcionamiento difiere sustancialmente de la velocidad indicada, que se define como el máximo 'letrero' velocidad que los vehículos pueden viajar legalmente. [13]

Para hallar la velocidad de operación según la metodología del gobierno de Queensland, necesitamos hallar la relación volumen-capacidad.

2.2.8.1. Relación De La Capacidad De Volumen

Esta sección de la guía técnica describe las ecuaciones usadas en la derivación del VCR²⁰ y los cálculos de volumen de tráfico y capacidad de la carretera.

La relación de la capacidad de volumen es un cálculo importante en CBA6²¹ ya que es fundamental para el cálculo de velocidad y muchos de los ajustes de la congestión en los algoritmos VOC²² velocidad de operación.

a. Volumen De Tráfico

AADT²³ y entradas de alineación vertical a CBA6 se utilizan para calcular el volumen de tráfico en la carretera con vehículos de pasajeros equivalentes (PCE²⁴). El valor de la AADT²⁵ se convierte en PCEs para medir el volumen de tráfico.

²⁰ VCR: Volumen Capacity Ratio (Relación de capacidad de volumen).

²¹ CBA6: Cost-Benefit Analysis 6. Es un método de análisis de costo beneficio.

²² VOC: Vehicle Operating Costs (Costo De Operación Vehicular)

²³ ADDT: Annual average daily traffic (Tráfico diario medio anual).
(Queensland Government, 2011) Capítulo 4.2 pag. 4.8

²⁴ PCE: Passenger Car Equivalent (Vehículos de pasajeros equivalentes).

²⁵ ADDT: Annual average daily traffic (Tráfico diario medio anual).
(Queensland Government, 2011) Capítulo 4.2 pag. 4.8

Factores PCE para cada tipo de vehículo se muestran en tabla 6 por ejemplo, que un doble B en un tramo de carretera con un grado entero del 4% equivale en volumen a turismos, 8,1.

Tabla 6: Factores equivalentes de automóviles de pasajeros

Vehicle type	Flat	Grade 4%	Grade 6%	Grade 8%	Grade 10%
Cars- private	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Cars - commercial	1.0667	1.1667	1.3333	1.6667	2.0000
Nor-Articulated	1.4000	2.1000	2.8000	4.2000	5.2222
Buses	1.7000	3.0000	4.0000	6.0000	7.0000
Articulated	2.4000	4.8000	7.2000	9.6000	12.0000
B-double	4.1000	8.1000	12.2000	16.2000	20.3000
Road train 1	4.9500	9.8500	14.8500	19.7500	24.7000
Road train 2	8.8000	17.6000	26.5000	35.3000	44.1000

Fuente: Adaptado de Austroads (2005) page 20.

La fórmula para calcular el volumen de tráfico se muestra en la ecuación 1.

$$Volume = \sum_i AADT_i \times PCE_i \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

- $AADT_i$ = conteo de tráfico diario medio anual
- PCE_i = Equivalente de vehículo de pasajeros para el tipo de vehículo i

Ejemplo: Volumen de tráfico

En una carretera plana (100% plana) con AADT²⁶ de 1000, de 616 automóviles privados, 264 coches comerciales, 50 vehículos

²⁶ AADT: Annual average daily traffic (Tráfico diario medio anual). (Queensland Government, 2011) Capítulo 4.2 pag. 4.8

rígidos, 10 autobuses, semifinales de 50 y 10 B-dobles, el volumen de tráfico correspondiente viene dado por:

$$\text{Volume} = (616 \times 1) + (264 \times 1.0667) + (50 \times 1.4) + (10 \times 1.7) + (50 \times 2.4) \\ + (10 \times 4.1)$$

$$\text{Volume} = 1146$$

Por lo tanto, el volumen de tráfico de la carretera en PCE es 1146. Esto es notablemente diferente de la AADT de 1000

b. Tasa De Crecimiento De Tráfico

CBA6²⁷ utiliza la tasa de crecimiento de tráfico para calcular la relación de capacidad de volumen en años futuros. Además, ofrece dos opciones de crecimiento cuando la predicción de los volúmenes de tráfico futuro, crecimiento lineal y crecimiento compuesto.

CRECIMIENTO DE TRÁFICO LINEAL

La fórmula para calcular el tráfico diario medio anual cuando la tasa de crecimiento del tráfico es lineal se da en la ecuación 2.

$$AADT_x = AADT_{y1} + (x - y1) \times \left(\left(AADT_{y1} \times (1 + GR) \right) - AADT_{y1} \right) \dots \dots (2)$$

Donde:

- $AADT_{y1}$ = AADT en el primer año de evaluación
- $AADT_x$ = AADT en el año x
- GR = tasa de crecimiento
- $y1$ = primer año (1)
- x = año de cálculo

²⁷ CBA6: Cost-Benefit Analysis 6. Es un método de análisis de costo beneficio. Queensland Government, 2011

Ejemplo: Crecimiento de tráfico lineal

El Tráfico diario medio anual (AADT) para un camino dado es 1000 y la tasa de crecimiento lineal se asume que 3% p.a. AADT en el año 5 es dado por:

$$AADT_5 = 1000 + (5 - 1) \times ((1000 \times (1 + 0.03)) - 1000)$$

$$AADT_5 = 1120$$

Nota: Cuando utilice el crecimiento lineal, las tendencias futuras se basan exclusivamente en la AADT en el año seleccionado por extrapolación.

CRECIMIENTO COMPUESTO DEL TRÁFICO

Se muestra la fórmula para el crecimiento compuesto del tráfico por la ecuación 3.

$$AADT_x = AADT_x \times (1 + GR)^{x-y^1} \dots\dots\dots(3)$$

Una tasa de crecimiento compuesto es una tasa de crecimiento que se agrava cada año, mientras que una tasa de crecimiento lineal resulta en un aumento constante del tráfico cada año.

El tráfico diario medio anual calculado usando un AADT²⁸ de 1000, compuesto anualmente en 4% durante 5 años, se expone a continuación:

$$AADT_5 = 1000 \times (1 + 0.04)^4 \dots\dots\dots (4)$$

$$AADT_5 = 1169.86$$

Como se muestra en este ejemplo, AADT puede variar sustancialmente dependiendo del tipo de tasa de crecimiento aplicada. El crecimiento compuesto del AADT se basa en un

²⁸ AADT: Annual average daily traffic (Tráfico diario medio anual). (Queensland Government, 2011).

porcentaje constante aumento en el número de vehículos por año, mientras que el crecimiento lineal en AADT se basa en un constante aumento en el número de vehículos por año.

c. Road Capacity

Capacidad vial depende de ambos la capacidad por hora, medida en PCE²⁹s y un factor de capacidad de hora pico por estado de camino modelo (MRS).³⁰ [13]

La Tabla 7 enumera las capacidades horarias en PCE para cada MRS. La capacidad horaria depende del tipo de sello (no dividido o dividido) y del ancho del sello.

Tabla 7: Capacidad de PCE por hora

MRS	Road width description	Hourly capacity (PCE/hr)
1	Unsealed natural surface	400
2	Unsealed formed road	400
3	Paved <4.5m	500
4	Paved >=4.5 m	700
5	Narrow seal <= 4.5 m	1 500
6	Narrow seal 4.6 m-5.2 m	2 000
7	2 lane seal 5.3 m-5.3 m	2 300
8	2 lane seal 5.9 m-6.4 m	2 350
9	2 lane seal 6.5 m-7.0 m	2 450
10	2 lane seal 7.1 m-7.6 m	2 500
11	2 lane plus shoulder seal 7.7 m-8.2 m	2 525

²⁹ PCE: Passenger Car Equivalent (Vehículos de pasajeros equivalentes).

³⁰ MRS: Model Road State (Estado del camino modelo).

12	2 lane plus shoulder seal 8.3 m-9.0 m	2 550
13	2 lane plus shoulder seal 9.1 m - 9,4 m	2 550
14	2 lane plus shoulder seal 9.5 m-10 m	2 565
15	2 lane plus shoulder seal 10.1 m-11,6 m	2 575
16	3 lane for overtaking	4 000
17	4 lane undivided sealed	7 120
18	6 lane undivided sealed	12 000
19	4 lane divided sealed	8 000
20	6 lane divided sealed	12 000
21	4 lane divided (Limited access)	8 000
22	6 lane divided (Limited access)	12 000
23	8 Lane divided (Limited access)	16 000

Fuente: adaptado desde Austroads (2005) page 22.

Nota: MRS³¹ se deriva de la clasificación MRS Australia Occidental: Austroads (AP-R264 / 05).

Porcentajes de capacidad de hora pico por defecto se muestran en la Tabla 8. Estos datos predeterminados se utilizan para evaluar el porcentaje de AADT que viajan durante las horas pico.

Tabla 8: El tipo de carretera y el factor de capacidad de hora pico

Road type	Capacity factor
National highway	10
Urban single carriageway	10
Urban dual carriageway	12,5
Rural single carriageway	8,33
Rural dual carriageway	10

Fuente: TMR.

³¹ MRS: Model Road State (Estado del camino modelo).

TMR³² asume que el 10% de la IMD³³ en una carretera nacional viaja durante los períodos pico. Del mismo modo, el 12,5% del tráfico diario viaja en horas pico en autovías urbanas. [13]

La ecuación 4 se utiliza para calcular la capacidad de un camino dado.

$$Capacity = \frac{Hourly Capacity}{Capacity Factor \%} \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

- Hourly Capacity = capacidad horaria de PCE / h por MRS³⁴
- Capacity Factor % = proporción de tráfico diario en los períodos pico

La tasa de capacidad horaria es fijada por el MRS correspondiente y es una función de la anchura del sello. En CBA6, carreteras con anchuras más grandes de sellado se asumen para dar cabida a más vehículos por hora.

Ejemplo: Capacidad vial

Una carretera nacional con un modelo de estado de carreteras 10 tendría una capacidad horaria de 2500, véase la Tabla 7, y un pico horas factor de capacidad del 10%, véase la Tabla 8. En este ejemplo, la capacidad de las carreteras es la siguiente:

$$Capacity = \frac{2500}{10\%}$$
$$Capacity = 25,000$$

³² TMR: Transport and Main Roads. (Transporte y carreteras).

³³ IMD: Índice medio diario.

³⁴ MRS: Model Road State (Estado del camino modelo).

Nota: periodo de pico (1 hora) se determina en CBA6 basado en la selección del usuario del sistema Descripción de carreteras y MRS³⁵.

El factor de capacidad de este modo se utiliza para determinar la capacidad de la vía que a su vez influye en el VCR. Esta forma de modelado se conoce como flujo libre.

d. RELACIÓN DE VOLUMEN CAPACIDAD

VCR se calcula utilizando los cálculos de volumen que se muestran en la Sección a. y los cálculos de capacidad que se muestran en la Sección c. [13]

$$VCR = \frac{Volume}{Capacity} \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

El VCR es una medida del nivel de congestión en un camino dado el volumen de tráfico y capacidad de las carreteras. Cuando el VCR llega a 1, esto indica que el camino está operando a 100% de la capacidad.

Nota: El VCR máximo en CBA6 es de 1,25.

Ejemplo: relación de capacidad de volumen

Utilizando los ejemplos proporcionados en las secciones 2.1 y 2.3, el vídeo correspondiente es:

$$VCR = \frac{1145}{25,000}$$

$$VCR = 0.046$$

Este ejemplo ilustra que el volumen actual carretera es de aproximadamente 4,6% de la capacidad total de carreteras.

³⁵ MRS: Model Road State (Estado del camino modelo).

2.2.8.2. Velocidad libre

Velocidad libre es la velocidad media de un vehículo no sujeto a rugosidad, congestión o señales limitantes de velocidad. La velocidad libre se relaciona con el tipo de vehículo, MRS y la alineación vertical y horizontal según la Tabla siguiente.³⁶

³⁶ [13] Capítulo 4.3 pag. 4.16

Tabla 9: Velocidad libre

Vehicle type	Road type	Straight grad 0-2%	Straightgrad 4%	Straight grad 6%	Straightgrad 8%	Straightgrad 10%	Curvy grad 0- 2%	Curvy grad 4%	Curvy grad 6%	Curvy grad 8%	Curvy grad 10%	V/curvy grad 0-2%	V/curvy grad 4%	V/curvy grad 6%	V/curvy grad 8%	V/curvy grad 10%
Cars - private	<= 4.5m	33	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	63	66	60	53
Cars-commercial	<= 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	63	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Non-Articulated	<= 4.5 m	32.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.3	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Bush	<=4.5 m	36	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Articulated	<=4.5 m	36	49	39	32	24	71	45	33	32	24	59	41	36	31	24
B-double	<=4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	<=4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	<=4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	>4.5 m	105	102	88	72	59	90	39	81	68	57	75	74	71	63	55
Cars - commercial	>4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51

Non-Articulated	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Buses	> 4.5 m	100	78	59	46	37	35	71	57	45	37	70	63	54	44	36
Articulated	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	32	69	58	76	75	71	63	55
Cars - commercial	Freeway	105	99.3	33.3	66.3	54.3	33.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	53.7	51
Non-Articulated	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	32	68.4	55.6	44.2	36	63.6	60.3	51.6	42.8	35.8
Buses	Freeway	113	32	60	46	37	39	73	58	46	37	72	64	54	44	37
Articulated	Freeway	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

Fuente: Adaptado de Austroads (2005) paginas 13–16

Una corrección de rugosidad se aplica a la velocidad de conexión cuando el recuento de rugosidad del camino es mayor que 60 NRM. Por último, la velocidad libre se ajusta para la congestión, de acuerdo con la grabadora de vídeo, para dar la velocidad de funcionamiento para cada tipo de vehículo.

El Cost-benefit Analysis Manual (CBA6) ofrece la opción de introducir un valor predeterminado o un valor especificado por el usuario para el perfil del terreno. La velocidad libre se calcula utilizando un promedio ponderado de los valores relativos al grado seleccionado. El porcentaje de cada pendiente para cada perfil de terreno por defecto se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10: Porcentaje por pendiente de terreno

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1	Grade factor 2	Grade factor 3	Grade factor 4	Grade factor 5
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Level or flat terrain	90	10	()	()	()
Rolling or undulating	50	30	20	()	()
Mountainous terrain	30	30	20	20	()

Fuente: TMR.

La fórmula de velocidad libre utilizada en CBA6 se deriva como un promedio ponderado de tiempo recorrido sobre una sección de carretera en lugar de un promedio ponderado de la longitud de sección de la carretera. Para más detalles, véase ARRB informe de investigación ARR 279.

$$Free\ speed\ (VT) = 1 / \sum_i \left(\frac{Grade\%_i}{Free\ Speed\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS)} \right) \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

- Free speed (VT) = velocidad libre por tipo de vehículo.
- $Grade\%_i$ = factores de alineación vertical de carretera.
- Free Speed Array = Velocidad libre correspondiente por tipo de vehículo para alineación horizontal y MRS³⁷

La fórmula incorpora la alineación horizontal, alineación vertical y MRS de la carretera para determinar la velocidad libre de cada tipo de vehículo.

2.2.8.3. Ajuste por rugosidad

Los valores dados por las tablas para cada tipo de vehículo dependen de la anchura (<4,5m y > 4,5m), de la curvatura y del gradiente de la carretera, Similar al cálculo de velocidad libre. El ajuste de la rugosidad del camino es ponderado en la distancia en vez del tiempo. [13]

Para analizar esta sección tendremos en cuenta la relación entre la escala NRM y la escala IRI³⁸ para la rugosidad; y esta viene dada por la siguiente ecuación:

$$IRI = (NRM + 1.27)/26.49.....(8)$$

De donde se puede obtener:

$$NRM = 26.49 \times IRI - 1.27.....(9)$$

³⁷ MRS: Model Road State (Estado del camino modelo).

³⁸ IRI: Índice de rugosidad internacional

Tabla 11: FSRG1 Factor de condición de velocidad de pavimento a 110 NRM

Vehicle type	Road type	Straight flat	Straight grad 4%	Straight grad 6%	Straight grad 8%	Straight grad 10%	Curvy flat	Curvy grad 4%	Curvy grad 6%	Curvy grad 8%	Curvy grad 10%	V/curvy flat	V/curvy grad 4%	V/curvy grad 6%	V/curvy grad 8%	V/curvy grad 10%
		Fsrg1	F5rg1	Fsrg1	Fsrg1	Fsrg1	Fsrg1	Fsrg1	Fsrg1	Fsrg1	Fsrg1	Fsrg1	Fsrg1	Fsrg1	Fsrg1	Fsrg1
Cars- private	<4,5m	0.98	0.93	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Cars-commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Non-Articulated	<4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Cars- private	> 4,5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Cars-commercial	> 4,5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Non-Articulated	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.93	0.99	0.99	1
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
B-double	> 4,5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1

Fuente: derivado por TMR de Austroads (2005) pagina 18.

Tabla 12: FSRG2 Factor de velocidad para la condición del pavimento a 250 NRM

Vehicle type	Road type	Straight flat	Straight grad 4%	Straight grad 6%	Straight grad 8%	Straight grad 10%	Curvy flat	Curvy grad 4%	Curvy grad 6%	Curvy grad 8%	Curvy grad 10%	V/curvy flat	V/curvy grad 4%	V/curvy grad 6%	V/curvy grad 8%	V/curvy grad 10%
		Fsrg2	Fsrg2	Fsrg2	Fsrg2	Fsrg2	Fsrg2	Fsrg2	Fsrg2	Fsrg2	Fsrg2	Fsrg2	Fsrg2	Fsrg2	Fsrg2	Fsrg2
Cars - private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.34	0.85	0.87	0.9	0.94
Cars - commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Nor-Articulated	< 4.5 m	0.65	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.133	0.87	0.92	0.95
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97
B-double	< 4,5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Cars - private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93
Cars - commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.91	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97
E-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97

Fuente: derivado por TMR from Austroads (2005) pagina 18.

El cálculo del factor de velocidad de la condición del pavimento se muestra mediante la ecuación siguiente. El cálculo de la matriz de rugosidad se realiza a los 110 y 250 NRM.

Matriz de rugosidad de velocidad libre.

$$FSRG_i = \sum_i \text{Roughness Array } (VT, \text{Grade}_i, \text{HorizAlign}, MRS) \times \text{Grade\%} \dots \dots (10)$$

Donde:

- FSRGi = Factor de velocidad de la condición del pavimento a 110 NRM o 250 NRM

Cuando la rugosidad de la corriente (CNRM) es menor o igual a 110, el factor de velocidad de la condición del pavimento (pcspdf) se deriva de la fórmula dada como Ecuación 11.

$$PCSpdF = \begin{cases} CNRM \leq 60 = 1 \\ CNRM \leq 110 = 1 - (1 - FSRG1) \times \frac{(CNRM - PAVC)}{(NRMA1 - PAVC)} \dots \dots \dots (11) \end{cases}$$

Donde:

- PCSpdF = Condición de pavimento factor de velocidad
- CNRM = Rugosidad actual de la carretera en NRM por kilómetro
- FSRG1 = Factor de velocidad de la condición del pavimento a 110 NRM
- PAVC = Mínima rugosidad después de la reconstrucción (parámetro del modelo = 60)
- NRMA1 = Valor de rugosidad que termina el primer segmento lineal de la relación bilineal (parámetro del modelo = 110)

Nota: La corrección de rugosidad sólo debe aplicarse para CNRM > 60, por lo tanto, pcspdf debe ser igual a 1 para CNRM 60. Cuando

CNRM es mayor que 110 NRM, el factor de velocidad de condición de pavimento se calcula usando la Ecuación 12.³⁹

$$PCSpdF = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} FSRG1 - (FSRG1 - FSRG2) \times \frac{(CNRM - NRMA1)}{(NRMA1 - NRMA1)} \\ FSRG2 \end{array} \right. \dots\dots\dots(12)$$

Dónde:

- PCSpdF = factor de velocidad de la condición del pavimento
- Máx = indica que se debe seleccionar el mayor de los dos factores calculados
- FSRG1 = factor de velocidad de la condición del pavimento a 110 NRM
- FSRG2 = factor de velocidad de la condición del pavimento a 250 NRM
- CNRM = rugosidad actual de la carretera en los recuentos de NRM por kilómetro
- NRMA = coeficiente de la relación PSR a NRM (parámetro del modelo = 250)
- NRMA1 = valor de rugosidad que termina el primer segmento lineal de la relación bilineal (parámetro del modelo = 110)

La velocidad libre corregida es una función del factor de condición de velocidad del pavimento mostrado por las ecuaciones 11 y 12 y el cálculo de la matriz de velocidad libre mostrado por la Ecuación 6. La ecuación de velocidad libre corregida para cada tipo de vehículo se muestra por la Ecuación 13.

³⁹ [13] Capítulo 4.3 pag. 4.20

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT) \dots \dots \dots (13)$$

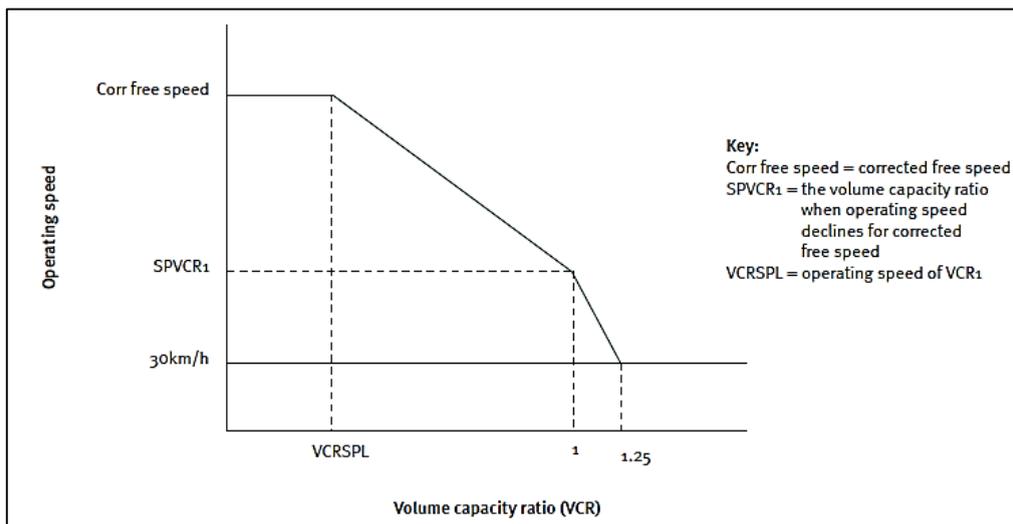
Dónde:

- CorrFreeSpeed (VT) = velocidad libre corregida para la rugosidad
- PCSpdF = factor de velocidad de la condición del pavimento
- FreeSpeed (VT) = velocidad libre por tipo de vehículo ajustado para la alineación horizontal y vertical y MRS

2.2.8.4. Ajuste por congestión

Una vez que la velocidad de funcionamiento ha sido ajustada para la rugosidad, entonces se ajusta para la congestión. Esta función ajusta la velocidad de la flota de acuerdo con el nivel de congestión en la carretera, que es descrito por el VCR. La velocidad de funcionamiento se representa como una función de VCR como se muestra en la Figura 16. [13]

Figura 16: Velocidad de funcionamiento y VCR de los vehículos privados.



Fuente: Cost-benefit Analysis Manual

El eje vertical mostrado por la figura 16 representa la velocidad de funcionamiento mientras que el eje horizontal representa el VCR.

La intercepción en Y es la velocidad libre corregida que se calcula usando la ecuación 13. Cuando el VCR alcanza un valor de VCRSPL, la velocidad de funcionamiento de la flota empieza a disminuir para ajustarse a la creciente congestión. El VCRSPL es un valor de parámetro que se utiliza para representar el nivel de VCR cuando el volumen de tráfico comienza a tener un efecto sobre la velocidad libre corregida y disminuye la velocidad del vehículo. A medida que el VCR aumenta a 1 (el camino alcanza su capacidad teórica), la velocidad decae al valor correspondiente SPVCR1. El SPVVCR1 representa la velocidad a la que la flota puede viajar con seguridad cuando se alcanza la capacidad. Como el VCR aumenta a 1.25, la velocidad baja a la velocidad de cola de 30km / h. Los valores de VCRSPL y SPVVCR1 para cada MRS se muestran en la Tabla 13.

Los valores de VCRSPL y SPVVCR1 son mayores para carreteras con grandes anchos de sellado y más carriles, que las carreteras estrechas con menos carriles. A medida que el MRS aumenta, el camino está menos sujeto a congestión y velocidad. [13]

Tabla 13: Parámetros de velocidad de operación final.

MRS	Road width description	VCRSPL	SPWCR1
1	Unsealed natural surface	0.1	40
2	Unsealed formed road	0.1	40
3	Paved < 4.5 m	0.1	40
4	Paved >=4,5 m	0.1	40
5	Narrow seal <= 4,5 m	0.05	40
6	Narrow seal 4.6 m-5,2 m	0.05	50
7	2 lane seal 5,3 m-5.8 m	0.05	65
8	2 lane seal 5,9 m-6.4 m	0.08	65
9	2 lane seal 6,5 m - 7,0 m	0.11	65
10	2 lane seal 7,1 m-7,6 m	0.12	65
11	2 lane plus shoulder seal 7.7 m - 8,2 m	0.12	65

12	2 lane plus shoulder seal 8.3 m-9,0 m	0.12	65
13	2 lane plus shoulder seal 9,1 m - 9.4 m	0.12	65
14	2 lane plus shoulder seal 9,5 m-10 m	0.12	65
15	2 lane plus shoulder seal 10.1 m-11.6m	0.2	65
16	3 lane for overtaking	0.2	65
17	4 lane undivided sealed	0.3	70
18	6 lane undivided sealed	0.3	70
19	4 lane divided sealed	0.3	70
20	6 lane divided sealed	0.3	70
21	4 lane divided (limited access)	0.4	70
22	6 lane divided (limited access)	0.4	70
23	8 lane divided (limited access)	0.4	70

Fuente: Austroads (2005) pagina 22.

La velocidad de operación para los vehículos particulares calculada por CBA6 se ilustra mediante las Ecuaciones 14 a 17. La velocidad de operación de los vehículos comerciales depende de la velocidad de funcionamiento de los vehículos privados y de la velocidad libre corregida, como se ilustra en la Ecuación 18. [13]

Cuando $VCR < VCRSPL$, la velocidad de funcionamiento está dada por la Ecuación 14.

$$OS(VT) = Corr Free Speed (VT).....(14)$$

Dónde:

•• OS (VT) = velocidad de funcionamiento para cada tipo de vehículo

La ecuación 14 muestra que la congestión no tiene ningún efecto sobre la velocidad de operación de la flota y el tráfico viaja a la

velocidad libre corregida. La congestión sólo comienza a afectar la velocidad de funcionamiento de un automóvil privado cuando el VCR alcanza el VCRSPL. La velocidad de funcionamiento dada por la Ecuación 15 se aplica cuando el VCR es menor que 1 pero mayor que VCRSPL ($VCRSPL < VCR < 1$). [13]

$$OS(VT) = SPVCR1 + (CorrFreeSpeed(VT) - SPVCR1) \times \left(\frac{(1-VCR)}{(1-VCRPL)} \right) \dots\dots(15)$$

Dónde:

- SPVCR1 = velocidad de funcionamiento en el VCR de 1
- VCRSPL = el VCR cuando la velocidad de funcionamiento disminuye de CorrFreeSpeed

La ecuación 15 muestra que a medida que aumentan los niveles de congestión (VCR se aproxima a 1), la velocidad de funcionamiento disminuye al valor de velocidad de funcionamiento SPVCR1. Cuando el VCR excede este punto (1 VCR 1.25), la velocidad de funcionamiento *cuando $1 < VCR < 1.25$* viene dada por la Ecuación 16.⁴⁰

$$OS(VT) = 30 \frac{km}{h} + (SPVCR1 - 30 \frac{km}{h}) \times \left(\frac{(1.25-VCR)}{(1.25-1)} \right) \dots\dots\dots(16)$$

En la Ecuación 16, la nueva velocidad de funcionamiento se determina en función del SPVCR1 menos una velocidad de cola de 30 km / h.

Cuando el VCR alcanza un máximo de 1.25, la velocidad de funcionamiento es 30km / h.

⁴⁰ [13] Capítulo 4.3 pág. 4.24

Nota: Los costos de congestión por vehículo en CBA6 no aumentan una vez que el VCR alcanza 1,25. Cuando el VCR es 1,25, la velocidad de funcionamiento se calcula mediante la fórmula dada por la Ecuación 17.

$$OS(VT) = 30 \frac{km}{h} \dots\dots\dots(17)$$

Las ecuaciones 14 a 17 se utilizan para calcular la velocidad de funcionamiento de un vehículo privado. La velocidad de funcionamiento para un vehículo comercial se calcula mediante la ecuación 18.

$$OS(CommercialVT) = MIN(OS(PrivateCar), CorrFree Speed(VT)) \dots\dots\dots(18)$$

Dónde:

- MIN = función mínima de la ecuación
- OS (PrivateCar) = velocidad de funcionamiento de un vehículo privado
- Corr Free Speed (VT) = velocidad libre corregida del vehículo comercial

La ecuación 18 se basa en la suposición de que los vehículos comerciales no deben poder viajar más rápido que los vehículos privados.

2.2.9. Costo De Operación De Vehículos

El costo de operación de los vehículos indica cuánto cuesta tener operando determinado vehículo.

Los costos de operación vehicular (COV) requieren una atención especial ya que superan a los otros dos, ya que este costo se da por el paso del

tráfico de vehículos a lo largo de la carretera y tienen que ser pagados por los usuarios. Los principales costos de operación son los siguientes:

- Combustible.
- Lubricantes.
- Llantas.
- Reparación y refacciones.
- Operador.
- Depreciación y reposición de vehículos.
- Intereses.
- Seguros.
- Tiempo de traslado de las mercancías.

La magnitud de las irregularidades superficiales tiene incidencia en los costos de operación, puesto que afectan la velocidad de circulación y producen un mayor desgaste de las llantas y componentes mecánicos de los vehículos, así como también mayor consumo de combustibles y aceites.

El cálculo de cada componente de los costos de operación vehicular se basa en una metodología detallada. El cálculo de los costos de operación vehicular se ve afectado por un número de entradas y se realizan ajustes en consecuencia.

Tabla 14 se muestran las entradas y los factores que afectan el cálculo de la COV⁴¹ en CBA6.

⁴¹ COV: Costo de operación vehicular.

Tabla 14: Factores que afectan la COV

Vehicle operating costs	Operanting speed	Vehicle characteristics			Road infrastructure		Traffic volumen (pce)
		Type and specs	Fuel type	Gradient	Curvature	Surface type and condition	
Fuel	T	T	T	T	T	T	T
Oil	T	T	T				
Tyres	T	T		T	T	T	T
Repairs and maintenance		T				T	
Depreciation and interest	T	T				T	

Fuente: adaptado de Austroads (2005)

La mayoría de estos algoritmos y valores de unidad se deriva de Austroads Informe ap-r264/05 'armonización del usuario de la vía no urbana modelos de costos'

2.2.9.1. Costo de Combustible

Coste de combustible del vehículo se calcula basándose en el consumo de combustible de cada vehículo. Velocidad de funcionamiento del vehículo predominante influye en la tasa de consumo de combustible. Otros ajustes a la tasa de consumo de combustible se realizan para tener en cuenta para obtener información específica como pendiente, curvatura, congestión y aspereza.

a. Consumo básico de combustible

Consumo básico (bfc) y costo básico del combustible (fuelcf) se calculan utilizando los parámetros dados en la tabla 15. CBA6 se aplica un costo unitario de combustible gasolina de 82,49 centavos de dólar por litro y 81,57 centavos por litro para el combustible diésel.

Tabla 15: Costos de combustible y factores de consumo

Vehicle type	Square	Reciprocal	Const.	Fcavf	Pdies	Petrol	Diesel	Fcong
	Factor 3	Factor 2	Factor 1	State of tune factor	Proportion of diesel vehicles	Petrol price(c/litre)	Diesel fuel price(c/litre)	Fuel cons incr factor-VCR=1
Cars - private	0.0054	1526.2	37.3	1.071	0	82.49	81.57	0.4
Cars - commercial	0.0114	1883	38.9	1.071	0	82.49	81.57	0.4
Non - Articulated	0.0168	3485.1	49	1.1	0.5	82.49	81.57	0.3
Buses	0.0131	5451.1	69.4	1.1	0.7	82.49	81.57	0.3
Articulated	0.0158	9621.1	118.6	1.1	0.9	82.49	81.57	0.3
B-double	0.016	14720.4	172.7	1.1	1	0	81.57	0.3
Road train 1	0.0148	17201.8	223.6	1.1	1	0	81.57	0.3
Road train 2	0.015	26646.9	312.1	1.1	1	0	81.57	0.3

Fuentes: Austroads informe 264/5, Austroads informe de IR-R156 / 08, CBA4 Manual técnico (1999).

El consume básico de combustible en litros por 1000 km es calculado usando la ecuación 19. El consumo básico de combustible está basado en la eficiencia del combustible de cada tipo de vehículo y la velocidad de operación.

$$BFC(VT) = Square(VT) \times OS^2(VT) + \frac{Reciprocal(VT)}{OS(VT)} + Constant(VT) \dots \dots \dots (19)$$

Donde:

- BFC (VT) = Consumo básico de combustible para cada tipo de vehículo.
- Square (VT) = parámetros del modelo
- OS (VT) = Velocidad de operación para cada tipo de vehículo
- Reciprocal (VT) = parámetros del modelo
- Constant (VT) = parámetros del modelo

El consumo básico de combustible es una función de los parámetros por defecto del modelo mostrados en la tabla 15.

El cálculo de consumo de combustible básico excluye otros factores específicos del proyecto que afectan el consumo de combustible del vehículo. El consumo real en litros por 1000 km se calcula aplicando una serie de ajustes para el gradiente, la curvatura, la congestión y la aspereza.

b. Factores de corrección del consumo de combustible por pendiente

El ajuste por pendiente es calculado usando los valores de los factores de corrección de rugosidad y pendiente mostrados en la tabla 16. El ajuste se realiza para reflejar el incremento el consumo de combustible debido a un cambio en la pendiente.

Como aumentan las pendientes, el factor de ajuste también aumenta, lo que indica una relación directa. Por ejemplo, el ajuste de pendiente de un vehículo privado en un 10% que viaja a 40km/h es 0.30. Esto indica que el consumo de combustible es 30% más que el consumo de combustible en una carretera plana con un grado menor que 4%.

Tabla 16: Ajuste por pendiente del consumo de combustible.

VEHICLE TYPE	GRADIENT	SPEED DESCRIPTION												
		8-15km/h Spd_01	16-23km/h Spd_02	24-31km/h Spd_03	32-39km/h Spd_04	40-47km/h Spd_05	48-55km/h Spd_06	56-63km/h Spd_07	64-71km/h Spd_08	72-79km/h Spd_09	80-87km/h Spd_10	88-95km/h Spd_11	96-103km/h Spd_12	104-112km/h Spd_13
		8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
CARS-PRIVATE	< 4 %	0.03	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.1	0.08	0.05	0.04	0.04	0.03
CARS-COMMERCIAL	< 4 %	0.02	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03
NON-ARTICULATED	< 4 %	0.06	0.09	0.08	0.08	0.11	0.16	0.25	0.22	0.18	0.17	0.17	0.03	0.17
BUSES	< 4 %	0.08	0.11	0.1	0.13	0.2	0.26	0.39	0.52	0.42	0.29	0.19	0.17	0
ARTICULATED	< 4 %	0.06	0.14	0.13	0.19	0.28	0.37	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.1	0.46
B-DOUBLE	< 4 %	0.06	0.15	0.15	0.22	0.31	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.46	0.43
ROAD TRAIN 1	< 4 %	0.07	0.16	0.15	0.19	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.43	0.29
ROAD TRAIN 2	< 4 %	0.16	0.17	0.13	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.29	0.2
CARS-PRIVATE	< 6 %	0.04	0.11	0.1	0.11	0.12	0.14	0.17	0.19	0.16	0.12	0.11	0.2	0.08
CARS-COMMERCIAL	< 6 %	0.04	0.09	0.09	0.09	0.1	0.11	0.12	0.14	0.11	0.09	0.08	0.1	0.07
NON-ARTICULATED	< 6 %	0.1	0.18	0.22	0.28	0.34	0.43	0.52	0.47	0.46	0.46	0.46	0.08	0.46
BUSES	< 6 %	0.15	0.24	0.32	0.42	0.54	0.65	0.83	0.98	0.84	0.7	0.57	0.46	0.32
ARTICULATED	< 6 %	0.18	0.29	0.4	0.52	0.66	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.45	0.7
B-DOUBLE	< 6 %	0.1	0.3	0.42	0.54	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.7	0.63
ROAD TRAIN 1	< 6 %	0.11	0.29	0.39	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.63	0.45
ROAD TRAIN 2	< 6 %	0.39	0.29	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.45	0.34
CARS-PRIVATE	< 8 %	0.05	0.19	0.17	0.17	0.18	0.21	0.26	0.3	0.25	0.21	0.18	0.34	0.12
CARS-COMMERCIAL	< 8 %	0.05	0.17	0.16	0.16	0.17	0.18	0.19	0.22	0.18	0.15	0.13	0.15	0.1
NON-ARTICULATED	< 8 %	0.19	0.39	0.47	0.55	0.62	0.68	0.7	0.65	0.65	0.65	0.65	0.12	0.65
BUSES	< 8 %	0.26	0.5	0.62	0.76	0.91	1.05	1.25	1.42	1.25	1.08	0.92	0.65	0.62
ARTICULATED	< 8 %	0.33	0.6	0.75	0.9	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.78	0.95
B-DOUBLE	< 8 %	0.18	0.62	0.76	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.95	0.85
ROAD TRAIN 1	< 8 %	0.21	0.61	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.85	0.75
ROAD TRAIN 2	< 8 %	0.6	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.75	0.61
CARS-PRIVATE	< 10 %	0.06	0.28	0.27	0.28	0.3	0.35	0.42	0.47	0.42	0.34	0.28	0.61	0.21
CARS-COMMERCIAL	< 10 %	0.07	0.27	0.27	0.26	0.3	0.32	0.35	0.39	0.35	0.3	0.26	0.25	0.21
NON-ARTICULATED	< 10 %	0.3	0.61	0.72	0.83	0.89	0.93	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.24	0.95
BUSES	< 10 %	0.39	0.76	0.93	1.11	1.28	1.45	1.69	1.9	1.69	1.49	1.31	0.95	0.95
ARTICULATED	< 10 %	0.47	0.9	1.08	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
B-DOUBLE	< 10 %	0.27	0.93	1.12	1.12	1.12	1.12	1.13	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
ROAD TRAIN 1	< 10 %	0.3	0.91	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
ROAD TRAIN 2	< 10 %	0.75	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96

Fuente: Adaptación de Austroads (2005) páginas 28–29.

El factor de ajuste de pendiente para consumo de combustible es calculado usando la ecuación 20. Este factor de ajuste varía por el tipo de vehículo, la velocidad de operación y la media ponderada de la pendiente del camino.

$$Grad\ Adjust = \sum_i Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i, OS) \times Grade\ \% \dots \dots \dots (20)$$

Donde:

- GradAdjust = factor de ajuste de consumo de combustible basado en la velocidad y la pendiente
- GradientAdjArray = datos de la Tabla 16
- VT = tipo de vehículo
- OS = velocidad de operación (km/h)
- Grade% = pendiente del gradiente por proporción ponderada de carretera

c. Ajuste por curvatura

La alineación horizontal de la carretera también puede afectar el consumo de combustible de los vehículos. Se supone que los vehículos consumen más combustible en carreteras con curvas alineaciones que en alineaciones rectas. El ajuste de curvatura se calcula utilizando los valores obtenidos de la tabla 17.

Tabla 17: Ajuste por curvatura para el consumo de combustible.

Vehicle type	Curve categories		
	Very curve	Curvy	Straight
Cars private	0.2	0.1	0
Cars commercial	0.2	0.1	0
Non articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

Fuente: adaptado de Austroads (2005) página 32.

Nota: Los valores en estas columnas se aplican a las categorías de curvatura predeterminada CBA, ver tabla 17.

El ajuste por curvatura para el consumo de combustible es mostrado por la ecuación 21.

$$Curve\ adjust = \sum_i CurveAdjArray(VT, CurveCategory) \dots \dots \dots (21)$$

Donde:

- CurveAdjust = factor de ajuste para el consumo de combustible basado en la curvatura.
- CurveAdjArray = ver tabla 17 para información.
- CurveCategory = muy curvas, curvas y rectas

d. Ajuste por congestión

El ajuste por congestión es calculado usando valores obtenidos de los parámetros de consumo de combustible (fcong) en la tabla 15. La congestión es afectada por la tasa de consumo de combustible de todos los vehículos, aumentando a medida que los vehículos permanecen en tráfico congestionado.

El ajuste de congestión se calcula multiplicando el VCR por el factor de consumo de combustible por tipo de vehículo. La implicación de la fórmula es que algunos tipos de vehículo consumen más combustible en la congestión que otros. Los valores en la tabla 15 indican que los vehículos comerciales pesados, que son predominantemente diesel, utilizan menos combustible extra en tráfico congestionado. El ajuste de la congestión calculado se utiliza en CBA6, si el valor calculado es menor que 1. Si el ajuste de congestión calculado es mayor que 1, se utiliza un valor máximo predeterminado de 1 en CBA6.

La ecuación 22 muestra el ajuste por congestión para el consumo de combustible.

$$\text{Congestion adjustment} = \text{MIN} (1, \text{VCR} \times \text{FCONGF}) \dots \dots \dots (22)$$

Donde:

- Min = valor mínimo
- VCR = relación de capacidad de volumen
- FCONGF = parámetro de ajuste consumo de combustible

e. Ajuste por rugosidad

Ajustes por el efecto de la condición de superficie de carretera en consumo de combustible se basan en la rugosidad de la carretera, el tipo de vehículo y la velocidad de funcionamiento. El primer ajuste es el pavimento condición factor de costo (GCGFAC), que ajusta el consumo de combustible para los efectos de la rugosidad de la carretera. Esto se demuestra por la ecuación 23.

$$GCGFAC = Min \left\{ CFSMAX \cdot CSENSPx \frac{(CNRM-PAVC)}{(NRMA-PAVC)} \dots\dots\dots(23) \right.$$

Donde:

- GCGFAC = Factor de costo para la condición del pavimento
- CFSMAX = factor de coste máximo para carreteras asfaltadas y es igual a 1.75
- CSENSP = sensibilidad del costo de carreteras asfaltadas y es igual a 4
- CNRM = rugosidad actual de la carretera
- PAVC = mínima rugosidad del camino después de (re) construcción (igual a 60)
- NRMA = coeficiente de PSR a NRM relación de conversión (igual a 250)

El factor de costo de condición de pavimento de rugosidad se ajusta para que tipo de vehículo y la velocidad determinar el factor de regulación de la rugosidad. Se calcula el factor de regulación de la rugosidad (FCGRVF) de los factores de corrección de rugosidad que se muestra en tabla 18.

El factor de costo condición del pavimento rugosidad se ajusta por tipo de vehículo y la velocidad para determinar el factor de ajuste de la rugosidad. El factor de ajuste de la rugosidad (FCGRVF) se calcula a partir de los factores de corrección de rugosidad que se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18: FCGRVF ajuste de rugosidad para consumo de combustible

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars-private	0.023	0.06	0.067	0.07	0.077	0.087	0.1	0.103	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Cars-commercial	0.026	0.06	0.068	0.073	0.078	0.084	0.09	0.092	0.083	0.08	0.08	0.077	0.073
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.11	0.104	0.097	0.09	0.076	0.071
Buses	0.05	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.14	0.15	0.13	0.12	0.12	0.11	0.1
Articulated	0.033	0.097	0.113	0.127	0.143	0.16	0.177	0.193	0.187	0.17	0.16	0.147	0.133
B-double	0.05	0.1	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.2	0.2	0.22	0.19	0.18	0.17
Road train 1	0.06	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	0.22	0.24	0.24	0.2	0.2	0.2
Road train 2	0.06	0.11	0.14	0.15	0.17	0.2	0.23	0.27	0.22	0.26	0.23	0.23	0.21

Fuente: adaptado de Austroads (2005) pág. 31.

B-doble viajando a una velocidad de 64,4 km/h, está sujeto a una FCGRVF de 0.2. La regulación de la rugosidad consiste en la FCGRVF y los factores GCGFAC. A continuación, se muestra la ecuación de regulación de la rugosidad de consumo de combustible de la ecuación 24.

$$Rough Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC \dots\dots\dots(24)$$

Donde:

- RoughAdj (VT) = factor de ajuste de rugosidad de consumo de combustible
- FCGRVF (VT) = factor de corrección de rugosidad

f. Costo por consumo de combustible

Utilizando datos de la tabla 15, el costo de la gasolina en centavos de dólar por litro se muestra en la ecuación 25. Esta fórmula incorpora la media ponderada de los vehículos según su tipo de combustible. Por ejemplo, un vehículo rígido (no articulado) puede utilizar combustible ya sea gasolina o diesel.

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT) \dots\dots\dots(25)$$

Donde:

- Fuelcf (VT) = costo en centavos por litro del combustible
- Petrol (VT) = costo de la gasolina en centavos de dólar por litro
- PDIES (VT) = proporción de diesel en vehículo
- DIESEL (VT) = costo en centavos de dollar por litro de diesel

Una vez que se ha calculado el costo de consumo de combustible, puede ser incorporado en la fórmula de coste del combustible total. Costo del combustible total se ajusta entonces para consumos

básicos, eficiencia de combustible, pendiente, curvatura, congestión y rugosidad. El coste de combustible total está dado por la ecuación 26.

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj)VT \dots\dots\dots(26)$$

Donde:

- Fuelcf (VT) = costo en centavos por litro del combustible
- BFC (VT) = consumo básico de combustible
- FCAVF = eficiencia del combustible o estado de factor de afinado
- Grad Adj = ajuste por pendiente de carretera
- Curve Adj = ajuste por curvatura de carretera
- Cong Adj = ajuste por congestión
- Rough Adj = ajuste por la rugosidad de la carretera

2.2.9.2. Costos de aceites

Los costos de aceite generalmente son un componente pequeño del total COV. El consumo de aceites se calcula usando los datos en la tabla 19.

Tabla 19: Costos de aceites y factores de consumo

VEHICLE TYPE	OIL CONSUMPTION FACTORS (OILCONS)													OIL COSTS	Pdies
	OPERATING SPEED													OILS(C/L)	
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h		
Cars-private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.6	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522	0
Cars-commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.6	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511	0
Non-articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488	0.5
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488	0.7
Articulated	1.88	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.5	1.52	1.54	1.56	1.58	1.63	488	0.9
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488	1
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488	1
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488	1

Fuente: adaptado de Austroads p.35 (2005), p.16 (2008) Austroads y pdies

a. Consumo de aceite

El consumo de aceite promedio por vehículo en litros por cada 1000 km está dado por la ecuación 27.

$$Oil(VT) = \left(dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT)) \right) \times Oilcons(VT, OS) \times gear \dots\dots\dots(27)$$

Donde:

- Oil (VT) = un promedio de consumo de diésel y gasolina (litros/1000 km)
- dtopcf = relación de conversión de petróleo a diésel para vehículo (model variable = 1.5)
- Pdies = proporción de vehículos que son motor diesel
- Oilcons (VT, OS) = relación básica velocidad de consumo de aceite de motor por vehículo
- Gear = factor que relaciona el consumo de aceite total al uso del aceite del motor (modelo variable = 1.1)

b. Costo de aceite

El factor de consumo se utiliza para determinar el costo total del aceite para cada vehículo, dada por la ecuación 28. El costo unitario de aceite se enumera en la tabla 19 para cada tipo de vehículo.

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000 \dots\dots\dots(28)$$

Donde:

- OilCost (VT) = el costo del aceite de motor (c/km)
- Oils (VT) = precio de aceite de motor (c/litro)

2.2.9.3. Costo de Llantas

Los costos de los neumáticos en CBA6 se calculan utilizando los datos que se muestran en la Tabla 20. El costo de desgaste de la banda en centavos por 0,001 mm de espesor de banda de rodadura (cost tread) se calcula en primer lugar, seguido por el desgaste básico de neumático que se calcula como 0,001 mm de desgaste por cada 1000 kilómetros. Los ajustes se hacen entonces para el gradiente, la curvatura, la rugosidad y la congestión.

Tabla 20: Desgaste de llantas y parámetros de costos.

VEHICLE TYPE	NO TYRE	CTYRE#	CRETR#	RETN	TREADN	TREADR	TYRE WC1	TYRE WC2	TYRE K	TCONG^
	Number Of Tyres (Excl. Spares)	Costs Of New Tyres (S)	Cost Of Retreads (S)	Average Number Of Retreads Per Tyre	Thickness Of Tread For New Tyre	Thickness Of Tread For Retreaded Tyre	Formula Factor 1	Formula Factor 2	State Of Tune Factor	Factor For Tyre Wear Increase At Vcr=1
Cars-private	4	121	66	0	6.71	5.87	0	0.43	201.9	1.7
Cars-commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0	0.43	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.8	141.2	1.4	9.27	8.58	0.00652	0.09	305.54	1
Buses	8	309.8	141.2	1.75	9.53	8.92	0.00815	0	331.45	1
Articulated	20	339.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.0021	0	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.0023	0	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.0023	0	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.0023	0	106.3	1

Fuente: adaptado de p.39 Austroads (2005), cálculos de TMR y Austroads (2008) pág. 16.

a. Costo de la banda de rodadura

El cálculo del costo de la pisada (VT) por 0,001 mm de espesor está dada por la ecuación 29. El costo de la banda de rodadura es una función del coste de los neumáticos nuevos y el costo del número y espesor de neumáticos recauchutados. Vehículos privados y comerciales no utilice neumáticos recauchutados, a diferencia de los carros que se supone utilizar neumáticos nuevos y recauchutados.

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE+CRETR+RETN) \times 100}{TREADN+TREADR \times RETN} \times 1000 \dots\dots\dots(29)$$

Donde:

- CTYRE = costo de neumáticos nuevos (\$)
- CRETR = coste de los neumáticos recauchutados (\$)
- RETN = promedio del número de recauchutadas por llanta
- TREADN = espesor de la huella para neumáticos nuevos
- TREADR = espesor de la huella para neumáticos recauchutados

b. Desgaste de llantas

La fórmula de desgaste del neumático ilustra la relación de desgaste de neumático velocidad básica dada por la ecuación 30. Esta ecuación incorpora el efecto de velocidad funcionamiento, basado en el supuesto de que mayores velocidades de operación aumentan el desgaste de los neumáticos. Muestra en el ejemplo que hay una relación directa entre el desgaste del neumático y velocidad para los vehículos privados y comerciales mientras el desgaste de los neumáticos de funcionamiento y velocidad de otros vehículos de funcionamiento presentan una relación no lineal directa.

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT).....(30)$$

Donde:

- Tyrek = state of tune factor
- OS = vehicle operating speed
- TyreWC1 = formula factor 1
- TyreWC2 = formula factor 2

c. Ajuste por congestión

Desgaste de los neumáticos se ajusta para los niveles de congestión en la carretera para calcular el factor de ajuste de congestión de desgaste de neumáticos para cada tipo de vehículo (TCONG). El ajuste de la congestión es dado por la ecuación 31. El factor TCONG es originario de tabla 20.

$$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR.....(31)$$

Donde:

- Cong (VT) = ajuste por congestión por tipo de vehículo
- TCONG (VT) = factor para aumentar el desgaste de los neumáticos donde VCR = 1 por tipo de vehículo

d. Ajuste de pendiente y curvatura

Curvatura y ajustes de gradiente se calculan por la proporción de tramos, que se clasifican en cada curvatura y categoría de degradado. Estos valores de los parámetros se muestran en tabla 21.

Tabla 21: Ajuste de costo de llanta por pendiente y curvatura

VEHICLE TYPE	GRADIENT					CURVE DESIGN SPEED (KM/H)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars-private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars-commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.9	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

Fuente: Cálculos de TMR y adaptado de Austroads (2005) p.41

Nota: Para velocidades de diseño mayores que los especificados en la tabla 21, CBA6 asume que se utiliza el factor de ajuste de 0.

Ajustes de la pendiente y curvatura en CBA6 se ponderan a la proporción de carretera que está clasificado en cada categoría. Gradient and curvature proportions used in CBA6 are shown by Table 22.

Tabla 22: Proporciones de pendiente y curvatura preestablecidas

PRESET	GRADIENT PROPORTION				
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	20%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

PRESET	CURVATURE PROPORTION				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	30%	60%
Very curvy	0%	0%	60%	20%	20%

Fuente: Cálculos de la TMR

- **Ajuste por pendiente**

Ajuste del gradiente para llantas se calcula utilizando los datos de la tabla 21 y se muestra en la ecuación 32. La proporción de la sección del camino que se clasifica por la categoría de gradiente se ilustra en la tabla 22. Posteriormente, estos valores se multiplican para obtener los factores de ajuste por pendiente desglosados.

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i \dots \dots \dots (32)$$

Donde:

- Grad (VT) = factor de ajuste por pendiente para neumático (vehicle type)
- Gradient Adj Array = valores de ajuste por pendiente.
- Grade% = porcentaje de carretera que cae en cada categoría de pendiente.

- **Ajuste por curvatura**

El ajuste para neumático por curvatura se calcula en CBA6 utilizando los datos de la tabla 21 y está dada por la ecuación 33.

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array\ (VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i \dots \dots (33)$$

Donde:

- Curv (VT) = factor de ajuste por curvatura para desgaste de neumático
- Curvature Adj Array = valores de los parámetros de curvatura
- Curvature%i = porcentaje de carretera que cae en cada categoría de curvatura

e. Ajuste por rugosidad

La regulación de la rugosidad para el desgaste de los neumáticos depende de la velocidad de funcionamiento y se muestra en la tabla 23.

Tabla 23: Matriz de ajuste por rugosidad para neumático

VEHICLE TYPE	OPERATING SPEED (KM/H)										
	ago-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars-private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars-commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.3	0.3
Buses	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	1.9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Road train 1	0.19	0.19	0.19	1.9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Road train 2	0.19	0.19	0.19	1.9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Fuente: adaptado de Austroads p.40 (2005)

Se selecciona el valor de regulación de la rugosidad de la matriz de ajuste de rugosidad neumático basada en la velocidad de funcionamiento actual del vehículo.

f. Costo total por neumático

El costo unitario total representa el total del costo por uso de neumático para las características de la carretera, como se muestra en la ecuación 34.

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT)) \dots \dots \dots (34)$$

Donde:

- Tyres (VT) = costo de neumático
- btw (VT) = desgaste básico de neumático

2.2.9.4. Costo de Reparación y mantenimiento

Los costos de mantenimiento y reparaciones son calculados usando la aspereza del camino y reparaciones básicas y servicios los costos como se muestra en la tabla 24. Esta tabla muestra las reparaciones básicas y servicios costos para todo tipo de vehículo por kilómetro recorrido. A diferencia de otros componentes de costos operativos, velocidad, alineación de vial y la congestión del tráfico no afectan directamente los costos de mantenimiento y reparaciones de vehículos.

Tabla 24: Costo de reparación y mantenimiento (RMUC)

VEHICLE TYPE	RMUC
	Basic repairs and servicing cost (cents7km)
Cars-private	4.5
Cars-commercial	4.6
Non-Articulated	8.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22
Road train 2	28.2

Fuente: adaptado de Austroads (2008) pág. 16.

Los costes básicos de mantenimiento y reparaciones se ajustan para la condición del pavimento mediante el índice de condición de pavimento (pavind), en la tabla 25.

Tabla 25: Índice de condición de pavimento

Surface type	Pavind(NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/fomed	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

Fuente: adaptado de Austroads (2005) página 47.

Valores de los parámetros se dan para 50, 100, 150, 200 y 250 MRN. Estos valores de condición de pavimento deben ser

interpolados para obtener un parámetro de rugosidad actual (CNRM).

Nota: La rugosidad actual ha de estar entre 30 y 250 MRN. Cuando la rugosidad actual es menos de 50 MRN, el factor de valor o rscmrf de ajuste será igual a 1 como se muestra en la ecuación 35.

$$rscmrf(VT) \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + (PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \frac{CNRM-50}{100-50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + (PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \frac{CNRM-100}{150-100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + (PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \frac{CNRM-150}{200-150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + (PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \frac{CNRM-200}{250-200} \\ \dots\dots\dots(35) \end{cases}$$

Donde:

- CNRM = rugosidad actual en NRM
- PAVIND (PT) = valor de índice de pavimento en el tipo de superficie actual (ST)

a. Costo total unitario por reparación y mantenimiento

El costo unitario reparaciones y de mantenimiento de este componente COV es la suma de las reparaciones básicas y costo de mantenimiento por tipo de vehículo y el factor de ajuste de rugosidad como se muestra en la ecuación 36.

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmrf(VT) \dots\dots\dots(36)$$

Donde:

- REPMCS (VT) = costo por reparación y mantenimiento por tipo de vehículo
- RMUC (VT) = costo básico de reparación y mantenimiento por tipo de vehículo
- rscmrf (VT) = factor de ajuste por reparación y mantenimiento por tipo de vehículo

2.2.9.5. Costos de depreciación e interés

Los costos de depreciación y el interés para todo tipo de vehículo son calculados usando los datos mostrados por la tabla 26.

Tabla 26: Factores de tiempo y depreciación

Vehicle type	TAX	VEHICLES	DDPN	TDI	FLEET	AHOUR
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (S)	basic distance depreciation rate	basic time depreciation	proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours / year vehicle is available on the road
Cars-private	10%	24.41	0.22	9.5	0	1000
Cars-commercial	10%	29.89	0.25	9.2	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101.45	0.28	7.4	0.8	1760
Buses	10%	101.45	0.15	7	0.8	2000
Articulated	10%	245.917	0.15	5.5	0.65	2833
B-double	10%	357.11	0.14	5.5	0.6	3000
Road train 1	10%	395.72	0.14	5.5	0.6	3000
Road train 2	10%	495.95	0.14	5.5	0.6	3000

Fuente: adaptado de Austroads (2008) página 16 y Austroads (2005) página 51.

Los valores de la tabla 27 se utilizan para calcular los costos netos de la depreciación y el interés. Estos valores describen la relación entre distancia amortización y tipo de superficie de carretera.

Tabla 27: Factor por tipo de superficie.

Surface type	Depsrf
	Factor relating distance depreciation to road surface type
Unsurfaced	2.5
Primerseal	1.5
Sealed	1
Concrete	1

Fuente: TMR.

La distancia y tiempo de depreciación por tipo de vehículo se deriva para calcular los costos netos de la depreciación y el interés. El costo económico de un nuevo vehículo se calcula y luego es ajustado para tener en cuenta distancia y tiempo.

a. Costo económico de un vehículo nuevo

Un componente de los cálculos de depreciación y el interés es el costo económico de un nuevo vehículo. Se define como el precio del vehículo menos el costo de todos los neumáticos suministrado con el vehículo, incluyendo cualquier repuesto. El costo económico de un nuevo vehículo se muestra en la ecuación 37, donde cálculos de precio son netos de impuestos de ventas.

$$ECV(VT) = VEHICLES(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1) \dots\dots\dots(37)$$

Donde:

- ECV (VT) = costo económico del vehículo
- VEHICLES (VT) = nuevo precio de vehículo por tipo de vehículo (\$)

- TAX = impuesto efectivo sobre las ventas de vehículos nuevos
- NOTYRE (VT) = número de neumáticos (incluyendo repuestos)
- CTYRE (VT) = costo de neumáticos nuevos (\$)

b. Depreciación básica por distancia

Depreciación (cents/km) de distancia básica se deriva el costo económico de un vehículo nuevo y una tasa de depreciación de distancia. Depreciación de distancia básica se muestra en la ecuación 38.

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100} \dots\dots\dots(38)$$

Donde:

- DSTDEP = depreciación de distancia básica (cents/km)
- ECV (VT) = costo económico de vehículo nuevo (\$)
- DDPN (VT) = tasa de depreciación por distancia %

c. Depreciación básica por tiempo

Depreciación de tiempo básico se deriva en función del costo económico de un nuevo vehículo, que se muestra en la ecuación 39.

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)} \dots\dots\dots(39)$$

Donde:

- TDPINT (VT) = tiempo marginal depreciación e intereses por tipo de vehículo (centavos/hora)
- ECV (VT) = costo económico de vehículo por tipo de vehículo (\$)

- TDI (VT) = tiempo básico depreciación y tasa de interés por tipo de vehículo (% / año)
- FLEET (VT) = proporción del tipo de vehículo susceptible de efectos de «reducción de la flota» debida a la reducción del tiempo de viaje por tipo de vehículo
- AHOUR (VT) = número de horas al año para que vehículo tipo está disponible 'en el camino' por tipo de vehículo

d. Costos netos de depreciación e intereses

Costos netos de la depreciación y el interés combinan componentes tanto tiempo y la distancia, y está dado por la ecuación 40.

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)}) \dots \dots \dots (40)$$

Donde:

- DPINCS (VT) = costos de depreciación y el interés por tipo de vehículo (cents/km)
- DSTDEP (VT) = depreciación de distancia básica (VT) (cents/km)
- DEPSRF = factor de depreciación de distancia relativas al tipo de superficie de carretera (VT)
- TDPINT (VT) = tiempo marginal depreciación e intereses por tipo de vehículo (centavos/hora)
- OS (VT) = velocidad de operación

2.2.9.6. Costo total de operación del vehículo unitario

La unidad total COV es la suma de los componentes individuales de la COV calculado a lo largo de la sección 4. Esto incluye combustible, neumáticos, aceite, reparaciones y mantenimiento e interés y depreciación. Unidad total COV se dan en la ecuación 41.

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation.....(41)$$

Donde:

•• UnitVOC (VT) = costo de operación unitario de vehículo (cents/km)

Luego se suma la COV total para el año en todos los tipos de vehículo. La fórmula COV se muestra por la ecuación 42.

$$TotalVOC = Seclength \times days \times \sum_i AADT_i \times \frac{VOC_i}{100}.....(42)$$

El cálculo de COV se completa por cada año de la evaluación. Se cambiará el valor de COV como condiciones de la carretera tales como aspereza y volumen varían cada año.

La derivación de COV anual se requiere para los casos de la base y el proyecto. La diferencia entre los compuestos orgánicos Volátiles derivados para el caso base y proyecto utilizará para estimar el beneficio anual y total de COV para el proyecto propuesto.

2.2.10. Costo Mantenimiento De Vías Afirmadas

Una política sana de conservación, representa un costo que debe ser asumido por la entidad gubernamental responsable de la gestión vial. En el caso de los caminos vecinales, ésta responsabilidad será de los municipios; y en el caso de los caminos secundarios, será de los gobiernos regionales.

En el caso del Programa Caminos Rurales del Perú, se fijó inicialmente una tarifa única a nivel nacional que llegó a US\$ 100 por kilómetro/mes o US\$ 1,200 por kilómetro/año. En este caso, con posterioridad, se

introdujeron tarifas diferenciadas según las características del camino, dado que algunas de las microempresas de mantenimiento operaban con márgenes de utilidad muy pequeños y otras con márgenes más amplios. El costo del mantenimiento periódico puede variar entre US\$ 2,500 y US\$ 8,000 por kilómetro, dependiendo básicamente de la cantidad de material de relleno que se necesitará, de la proximidad de las canteras que proveen dicho material, del costo de la mano de obra en la zona, etc. Pero, en general, este costo debe ser resultado de la elaboración de un expediente técnico de la vía.

El costo de la rehabilitación, en el caso del Programa Caminos Rurales del Perú, ha variado entre US\$ 9,000 y US\$ 18,000 por kilómetro, dependiendo de la calidad del terreno, del grado de deterioro de la vía y del sistema de drenaje, entre otros. En este caso, los montos de inversión definitiva se precisaron mediante estudios de factibilidad para cada vía.

El costo de las actividades de mejoramiento puede variar considerablemente, según el tipo de mejora que deba realizarse y de la complejidad de los mejoramientos geométricos que requiera la vía. Al igual que en los casos anteriores, se requieren estudios específicos.

El costo de reconstrucción de una vía completamente deteriorada, puede llegar a ubicarse entre los US\$ 30,000 y US\$ 40,000, dependiendo del grado de deterioro de la vía y de los costos operativos de la zona de intervención.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Rugosidad**

Rugosidad es la desviación de una determinada superficie de pavimento respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo y la calidad al manejar [14].

- **Índice de rugosidad internacional**

El IRI representa el efecto sobre el vehículo del usuario del camino que tienen las desviaciones de la superficie del pavimento (causa) respecto a una superficie plana teórica con dimensiones suficientes para afectar la dinámica del vehículo y la calidad al manejar.

- **Velocidad de operación**

La velocidad de operación es la velocidad media estimada para cada tipo de vehículo en un camino particular, una vez que se realicen ajustes para la congestión y otras características de la carretera. La velocidad de operación difiere sustancialmente de la velocidad indicada, que se define como el máximo 'letrero' velocidad que los vehículos pueden viajar legalmente.

- **Costo de operación**

Son los costos que se producen cotidianamente por la circulación de los vehículos por dicho camino. Siendo los principales los costos por combustibles, lubricantes, llantas, reparación y refracciones, operador, depreciación y reposición de vehículos, intereses, seguros y tiempo de traslado de las mercancías.

- **Perfil longitudinal:**

Es el conjunto de desviaciones de la superficie del pavimento perpendiculares con respecto a un plano horizontal de referencia tomado a lo largo del carril de circulación

- **Velocidad de marcha promedio:**

Distancia total recorrida por todos los vehículos en el volumen de tránsito, dividida por el tiempo de viaje total para todos los vehículos.

- **Velocidad de proyecto:**

Es la velocidad máxima (segura) que se puede mantener sobre un tramo específico de vía cuando las condiciones son lo suficientemente

favorables para que las características de diseño de la vía gobiernen la operación del vehículo

- **Tiempo de recorrido:**

Es el lapso que transcurre mientras un vehículo recorre cierta distancia incluyendo el invertido en paradas, excepto cuando estas son ajenas a la vía.

- **Velocidad media de recorrido:**

Definida como el cociente que resulta de dividir el espacio andado por un vehículo entre el tiempo de recorrido correspondiente a ese espacio. Sirve principalmente para comparar condiciones de fluidez en ciertas rutas

- **Capacidad práctica:**

Es máximo número de vehículos-tipo que puede pasar por una sección dada de un carril durante una hora sin que la intensidad del tráfico sea tan alta que cause pérdidas de tiempo, peligro o restricciones a la maniobrabilidad de los conductores más allá de lo razonable, en las condiciones existentes del tramo de vía considerado y del tráfico que pasa por ella.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es la investigación APLICADA, ya que es una “investigación técnica destinada al conocimiento de algún aspecto de la realidad o a la verificación de la realidad...” (ROBERTO HERNANDEZ SAMPIERI, 2010), tenemos mayor validez externa (posibilidad de generalizar los resultados a otros individuos y situaciones comunes) la cual propone un estándar estadístico de la rugosidad que sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino, denominado Índice de rugosidad internacional, conocido como IRI (International Roughness Index)

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es explicativo, ya que permite responder a las causas del costo de operación vehicular de los eventos observando el efecto del Índice de Regularidad Internacional e Índice de Serviciabilidad.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

- **Método General: Método Científico.**

El método específico es el experimental, porque la investigación se apoya en la observación de fenómenos provocados o manipulados en laboratorio y es una situación de control en la que se manipulan de manera intencional, una o más variables independientes (causas) para analizar las

consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes (efecto).

- **Método aplicado:**

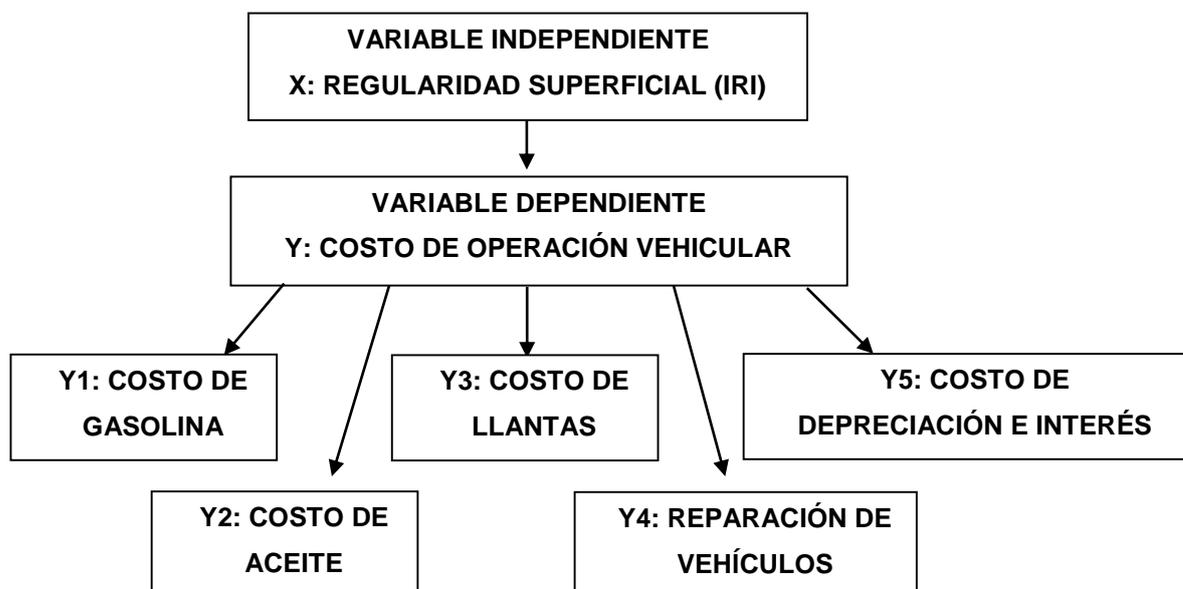
El método aplicado es el cuantitativo porque usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se realiza la relación entre las variables, observando el comportamiento de una para predecir el comportamiento de la otra además de lograr resultados específicos expresados de manera Correlacional.

Se realiza una acción; medición del IRI del lugar de estudio; y posteriormente se observan sus consecuencias; las influencias en el costo de operación de vehículos; de manera más particular es un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (causas), para analizar sus consecuencias en una o más variables dependientes (efectos).

Figura 17: Relación de Variables



Fuente: Elaborada Propia

3.5. CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

3.5.1. Validación de los instrumentos de la investigación

3.5.1.1. Validez De Conocimiento

Para la validación de los instrumentos de investigación se relaciona con la validación racional puesto que la metodología está dada y el equipo a utilizar es conocido, ya fueron estudiadas por otros investigadores y en algunos casos están normados y en la presente investigación se harán uso de ellos.

3.5.1.2. Validación De Constructo

La metodología de Queensland para hallar el costo de operación de los vehículos utiliza varios factores como: costo de combustible, costo de aceite, costo de llantas, costos de reparación y mantenimiento y costo de depreciación e interés por lo que los ítems seleccionados se medirán cuantitativamente

3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.6.1. Población

La población de investigación de estudio comprende a la carretera que une los distritos de Vilcacoto – Acopalca en la provincia de Huancayo.

3.6.2. Muestra

La muestra que se analiza en esta investigación, es obtenida de la carretera: Carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. Técnicas

Se recolectó información a partir de las versiones de los pobladores de diversas fuentes digitales e impresas, para el desarrollo del marco teórico. La principal técnica de recolección de datos fue la observación ya que la mayor ventaja de esta es su relación directa con la realidad.

Se realizará el conteo de tráfico para la vía en estudio, para lo cual se tomaron los datos durante 7 días, de acuerdo a la recomendación manual de Ministerios de Transportes, haciendo uso del formato de conteo de tráfico descrito, también para el índice de rugosidad se tomará datos con uso del equipo de MERLIN, con toma de datos cada 2 m de acuerdo al procedimiento descrito en el marco teórico.

A partir de los datos obtenidos se generaron hojas de cálculo de basadas en la teoría de Queensland, que ayudaran para la elaboración de conclusiones y recomendaciones de la investigación.

3.7.2. Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron para la presente investigación fueron los siguientes: equipo MERLIN toma de datos cada 2 m, equipos de laboratorio para el ensayo de la muestra, equipo de cómputo (para el proceso de datos), información bibliográfica y manuales de laboratorio, equipos fotográficos, calculadoras y materiales de apunte.

CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES

4.1.1. Índice De Rugosidad

El Índice de rugosidad como se mencionó anteriormente se determinó mediante el ensayo MERLIN, tomando tramos de 200 m para 10 km de carretera. Obteniendo como resultados:

Tabla 28: Índice de rugosidad internacional por progresiva y promedio.

<i>Progresivas</i>			<i>IRI⁴²</i>
3+100	-	3+300	8.60
3+300	-	3+500	6.62
3+500	-	3+700	8.41
3+700	-	3+900	7.12
3+900	-	4+100	8.88
4+100	-	4+300	8.91
4+300	-	4+500	6.88
4+500	-	4+700	8.81
4+700	-	4+900	8.95
4+900	-	5+100	8.88
5+100	-	5+300	8.13
5+300	-	5+500	8.69
5+500	-	5+700	8.08
5+700	-	5+900	8.86
5+900	-	6+100	7.32
6+100	-	6+300	7.49

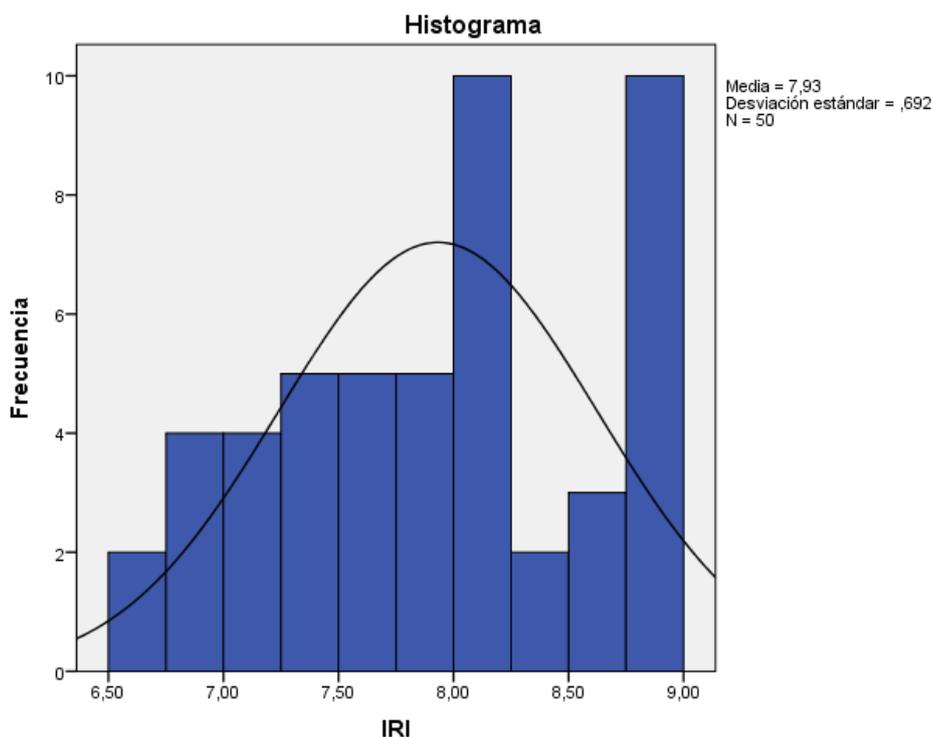
⁴² IRI: Índice de rugosidad internacional

Continúa tabla 28...

<i>Progresivas</i>			<i>IRI</i> ⁴³
6+300	-	6+500	8.20
6+500	-	6+700	8.86
6+700	-	6+900	8.35
6+900	-	7+100	8.63
7+100	-	7+300	8.90
7+300	-	7+500	8.07
7+500	-	7+700	8.81
7+700	-	7+900	7.75
7+900	-	8+100	7.71
8+100	-	8+300	7.09
8+300	-	8+500	7.33
8+500	-	8+700	7.84
8+700	-	8+900	8.03
8+900	-	9+100	8.02
9+100	-	9+300	7.94
9+300	-	9+500	7.50
9+500	-	9+700	7.75
9+700	-	9+900	6.75
9+900	-	10+100	8.21
10+100	-	10+300	7.61
10+300	-	10+500	6.86
10+500	-	10+700	6.90
10+700	-	10+900	8.98
10+900	-	11+100	8.22
11+100	-	11+300	8.07
11+300	-	11+500	7.41
11+500	-	11+700	7.23
11+700	-	11+900	7.61
11+900	-	12+100	7.38
12+100	-	12+300	7.74
12+300	-	12+500	8.24
12+500	-	12+700	7.89
12+700	-	12+900	6.88
12+900	-	13+100	7.19
Promedio IRI			7.93

⁴³ IRI: Índice de rugosidad internacional

Figura 18: Histograma de las frecuencias de IRI.



Donde la desviación estándar es: Desv. Est.=0.692

El índice de regularidad internacional característico (IRIc), a la confiabilidad de 70%

Tabla 29. Índice de regularidad internacional característico

Estadísticos		
IRI		
N	Válido	50
	Perdidos	0
Media		7,9319
Desviación estándar		,69224
Asimetría		-,087
Error estándar de asimetría		,337
Curtosis		-1,074
Error estándar de curtosis		,662
Percentiles	70	8,3169
IRIc	8.29	

Este índice de rugosidad característico es superior al límite que nos indica el Manual de carreteras – Conservación vial que es de 8.

4.1.2. Velocidad De Operación

La velocidad de operación se calculó con la metodología Manual de Análisis de Costo Beneficio en proyectos de carretera. En primer lugar, se muestra el cálculo de la relación volumen capacidad, cuya metodología está descrita en la sección 2.2.8, con la ayuda de las tablas propuestas en dicha sección.

Tabla 30: Cálculo del factor VCR (Relación volumen capacidad), cálculo previo a la velocidad de operación.

Tipo de Vehículo	# de vehic.	2.0	2.8	1.8	1.6	1.09
		flat	4%	6%	8%	10%
Cars-private	228	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Cars-commercial	12	1.0667	1.1667	1.3330	1.6667	2.0000
Non-Articulated	65	1.4000	2.1000	2.8000	4.2000	5.2222
Buses	0	1.7000	3.0000	4.0000	6.0000	7.0000
Articulated	0	2.4000	4.8000	7.2000	9.6000	12.0000
B-double		4.1000	8.1000	12.2000	16.2000	20.3000
Road train 1		4.9500	9.8500	14.8500	19.7500	24.7000
Road train 2		8.8000	17.6000	26.5000	35.3000	44.1000

Tipo de Vehículo	# de vehic.	flat	4%	6%	8%	10%
Cars-private	228	2	2.77	1.8	1.6	1.09
Cars-commercial	12	2.13	3.23	2.40	2.66672	2.18
Non-Articulated	65	2.8	5.817	5.04	6.72	5.692198
Buses	0	3.4	8.31	7.2	9.6	7.63
Articulated	0	4.8	13.296	12.96	15.36	13.08
B-double	0	8.2	22.437	21.96	25.92	22.127
Road train 1	0	9.9	27.2845	26.73	31.6	26.923
Road train 2	0	17.6	48.752	47.7	56.48	48.069

$$Volume = \sum_i AADT_i \times PCE_i$$

Volume = 3957

Hourly Capacity	700.00
Capacity Factor	10.00%

$$Capacity = \frac{Hourly\ Capacity}{Capacity\ Factor\ \%}$$

Capacity =	7000.00
------------	---------

$$VCR = \frac{Volume}{Capacity}$$

VCR =	0.5653
-------	--------

Posteriormente se tiene la hoja de cálculo de la velocidad de operación de vehículos particulares para la vía en estudio, que depende del IRI obtenido

Tabla 31: Hoja de cálculo de la velocidad de operación.

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pen	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	90	89	75	63	52.7

$$Free\ speed\ (VT) = 1 / \sum (Grade\%_i / Free\ Speed\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS))$$

Free speed (VT) = 8.10

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pen	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.97	0.98	0.99	1	1

$$FSRG_i = \sum Roughness\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS) \times Grade\%$$

FSRG1 = 9.13

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pen	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91

FSRG2 = 7.15

CNRM = 218 218.3321 8.29

NRMA = 250.00

NRMA1 = 110.00

$$PCSpdF = \max \left\{ \begin{array}{l} FSRG1 - (FSRG1 - FSRG2) \times \frac{(CNRM - NRMA1)}{(NRMA - NRMA1)} \\ FSRG2 \end{array} \right.$$

PCSpdF = 7.60

$$Corr\ Free\ Speed(VT) = PCSpdF \times Free\ Speed(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 61.57 km/h

$$OS(VT) = SPVCR1 + (CorrFreeSpeed(VT) - SPVCR1) \times \left(\frac{(1 - VCR)}{(1 - VCRSPL)} \right)$$

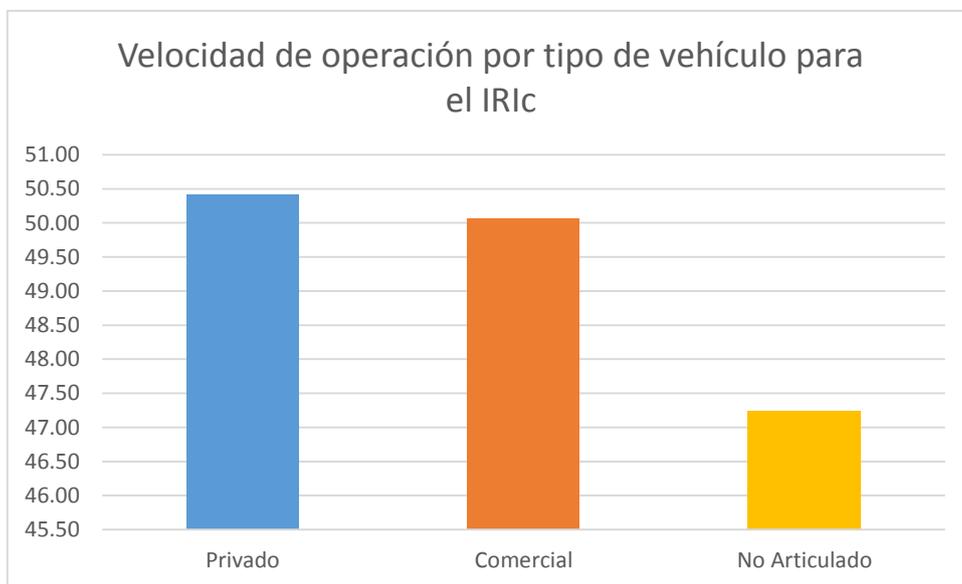
OS (VT) = 50.42 km/h

De la misma manera se calcula para vehículos comerciales, camiones no articulados, vehículos que transitan por dicha vía, teniendo como resumen la tabla 32

Tabla 32: Velocidad de operación para los tres tipos de vehículos que transitan dicha carretera, según la clasificación del método, para el IRlc.

Tipo de vehículo	Velocidad de Operación	Velocidad de Operación
	OS (VT) km/h	OS (VT) mph
<i>Privado</i>	50.42	31.33
<i>Comercial</i>	50.06	31.11
<i>No Articulado</i>	47.24	29.36
<i>Buses</i>	No se presenta	No se presenta
<i>Articulado</i>	No se presenta	No se presenta
<i>B-doble</i>	No se presenta	No se presenta

Figura 19: Velocidad de operación para los cuatro tipos de vehículos que transitan dicha carretera para el IRlc=9.26.



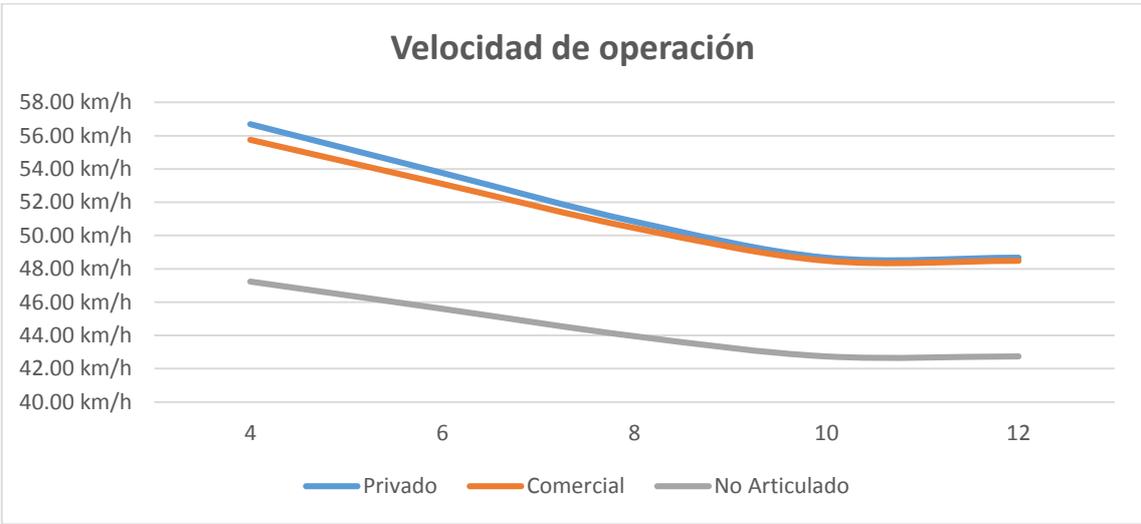
Se puede observar que los vehículos que presentan mayor velocidad de operación, obviamente son los vehículos particulares, como los autos y camionetas, sin embargo, no presentan una diferencia considerable con los vehículos comerciales (combis).

Se calculó la velocidad de operación para índices de rugosidad de 4, 6, 8, 10 y 12; con la finalidad de realizar el análisis propuesto, siguiendo la metodología propuesta por el gobierno de Queensland, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 33: Velocidad de operación para diferentes Índices de rugosidad y por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	IRI				
	4	6	8	10	12
Privado	56.69 km/h	53.76 km/h	50.84 km/h	48.67 km/h	48.67 km/h
Comercial	55.75 km/h	53.10 km/h	50.45 km/h	48.48 km/h	48.48 km/h
No Articulado	47.24 km/h	45.60 km/h	43.95 km/h	42.73 km/h	42.73 km/h
Buses	0.00 km/h				

Figura 20: Velocidad de operación para diferentes Índices de rugosidad y por tipo de vehículo, según la clasificación de la metodología.



4.1.3. Costos De Operación

Los costos de operación se calcularon con la metodología descrita en la sección 2.2.9 y se obtuvieron los siguientes resultados. Los costos de combustibles se convirtieron a centavos de dólar australiano para el uso de la metodología y luego se volvió a convertir a soles para el costo unitario de operación.

En las siguientes hojas de cálculo se presenta el cálculo para el costo de operación de vehículos privados.

Tabla 34: Hoja de cálculo para el costo de operación vehicular de vehículos privados, para el IRlc.

COMBUSTIBLE					Consumo básico de combustibl
Tipo de Vehículo	Square(VT)	OS(VT)	Reciprocal(VT)	Constant(VT)	BFC(VT)
Privado	0.0054	50.4	1526.2	37.3	81.30

$$BFC(VT) = Square(VT) \times OS^2(VT) + \frac{Reciprocal(VT)}{OS(VT)} + Constant(VT)$$

$$Grad Adjust = \sum_i Gradient Adj Array(VT, Grade_i, OS) \times Grade\%$$

OS (VT) = 50.42

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.09	0.14	0.21	0.35

Factor de ajuste por pendiente = 1.779448

Factor de ajuste por curvatura = 0.1

$$Curve adjust = \sum_i CurveAdjArray(VT, CurveCategory)$$

VCR =	0.565
FCONGF =	0.4

Factor de ajuste por congestión = 0.22612076

$$Congestion adjustment = MIN(1, VCR \times FCONGF)$$

CFSMAX =	1.75
CSENSP =	4
CNRM =	218.33
PAVC =	60
NRMA =	250

$$GCGFAC = Min \left\{ CSENSP \times \frac{CFSMAX}{(CNRM - PAVC)}, \frac{NRMA}{(NRMA - PAVC)} \right\}$$

GCGFAC =	1.750
FCGRVF =	0.087

$$\text{Rough Adj}(VT) = \text{FCGRVF}(VT) = \text{FCGRVF}(VT) \times \text{GCGFAC}$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.222285
----------------------------------	----------

Factor De gal. A	Diesel	S/. 9.79	S/. 2.59	soles/litro
3.79	90	S/. 10.39	S/. 2.74	soles/litro

Diesel	101.82	avos de dólar australiano/
90	108.02	avos de dólar australiano/

$$\text{OS}(VT) = 50.42$$

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0	
Diesel(VT) =	101.82	
Fuelcf(VT) =	108.02	

$$\text{Fuelc}(VT) = \text{Petrol}(VT) \times (1 - \text{PDies}(VT)) + \text{Diesel}(VT) \times \text{PDies}(VT)$$

FCAVF =	1.071
---------	-------

$$\text{Fuel Cost}(VT) = \text{Fuelcf}(VT) \times \text{BFC}(VT) \times (1 + \text{FCAVF} + \text{Grad Adj} + \text{Curv Adj} + \text{Cong Adj} + \text{Rough Adj}) \times VT$$

Fuel Cost(VT)	38629.52	c/1000km
Fuel Cost(VT)	38.6	c/km

$$\text{OS}(VT) = 50.42$$

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0
Oilcons(VT, OS)	0.6
gear =	1.1

$$\text{Oil}(VT) = (dtopcf \times \text{Pdies}(VT) + (1 - \text{Pdies}(VT))) \times \text{Oilcons}(VT, OS) \times \text{gear}$$

Oil(VT) =	0.66	L/1000km
Oils(VT) =	522	c/L

$$\text{OilCost}(VT) = \text{Oil}(VT) \times \text{Oils}(VT) / 1000$$

OilCost(VT) =	0.34	c/km
---------------	------	------

TREAD COST

NoTyre =	4
CTYRE =	121
CRETR =	66
RETN =	0
TREADN =	6.71
TREADR =	5.87

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) = 7.21 c/0.001mm

TyreK(VT) =	201.9
OS(VT) =	50.4
TyreWC1 =	0.00000
TyreWC2 =	0.42780

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) = 223.47 0,001 mm/1000 km

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1.7

$$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$$

Cong(VT) = 0.96

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Dlstanda	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.1	0.2	0.4	0.6
	Factor de ajuste por pendiente =				1.931

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0%	0%	10%	30%	60%
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0

Factor de ajuste por pendiente = 6.5

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

OS(VT) =	50.42
----------	-------

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	5.23
--------------	------

TDI(VT) =	9.5
FLEET(VT) =	0
AHOUR(VT) =	1000

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	0.00
--------------	------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	50.42
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	7.85	c/km
--------------	------	------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	73.66	c/km
-----------	-------	------

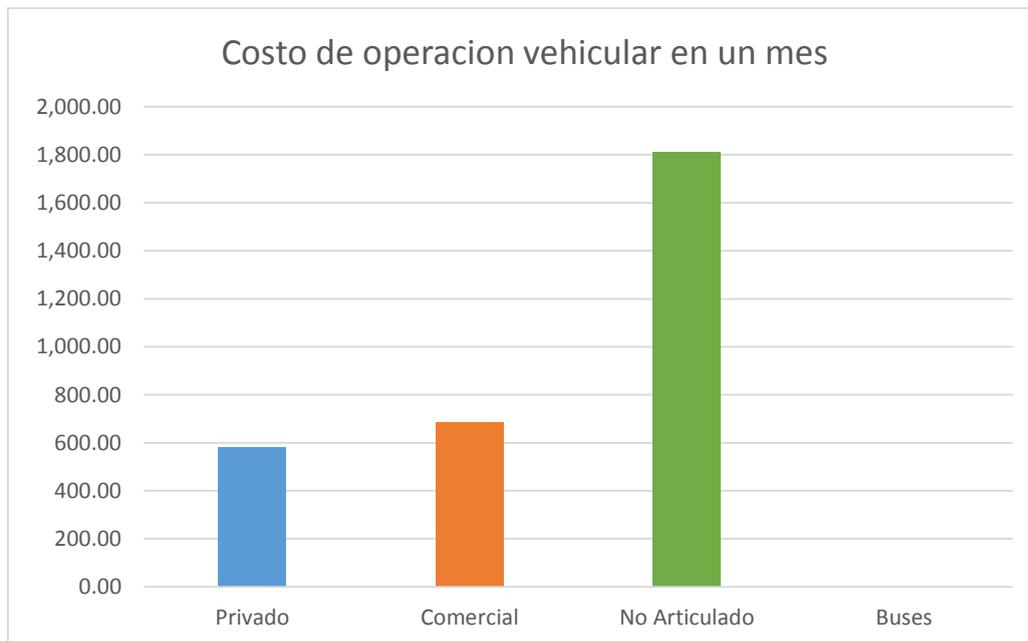
UnitVOC =	1.87	soles/km
-----------	------	----------

La siguiente tabla muestra en resumen los costos de operación por tipo de vehículo por día en céntimos/km

Tabla 35: Costo de operación por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Costo de Operación	
	COVUnit (VT) céntimos/km	COVUnit (VT) soles/km
<i>Privado</i>	187.08	1.87
<i>Comercial</i>	219.76	2.20
<i>No Articulado</i>	583.00	5.83
<i>Buses</i>	No se presenta	No se presenta
<i>Articulado</i>	No se presenta	No se presenta
<i>B-doble</i>	No se presenta	No se presenta

Figura 21 Costo de operación por tipo de vehículo en soles/km



En la Grafica anterior se puede notar que el costo de operación de los vehículos no articulados, en este caso, camiones; es superior a los otros ya que estos consumen más combustibles, aceites y demás factores cuando hay cambios de pendiente.

Tabla 36: Costos de operación por km, por día, mes y año para todo el tramo y para el total de vehículos.

Tipo de vehículo	Costo de Operación					
	Día	Mes	Día	Mes	Año	Para todos los vehículos
	Soles/km	Soles/km	Tramo 10.363 km			
<i>Privado</i>	1.87	56.13	19.39	581.63	7,076.47	1,613,435.15
<i>Comercial</i>	2.20	65.93	22.77	683.21	8,312.38	99,748.50
<i>No Articulado</i>	5.83	174.90	60.42	1,812.50	22,052.04	1,433,382.39
<i>Buses</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Articulado</i>	-	-	-	-	-	-
<i>B-doble</i>	-	-	-	-	-	-
						3,146,566.05

La tabla anterior nos indica que, en dicho tramo de carretera, un vehículo particular o privado que transita por ahí presenta un costo de operación de S/.98.57 por día, teniendo así por mes un costo de operación de S/. 581.63 y al año S/. 7,076.47.

Figura 22: Costo de operación en un año por tipo de vehículo para el IRlc encontrado

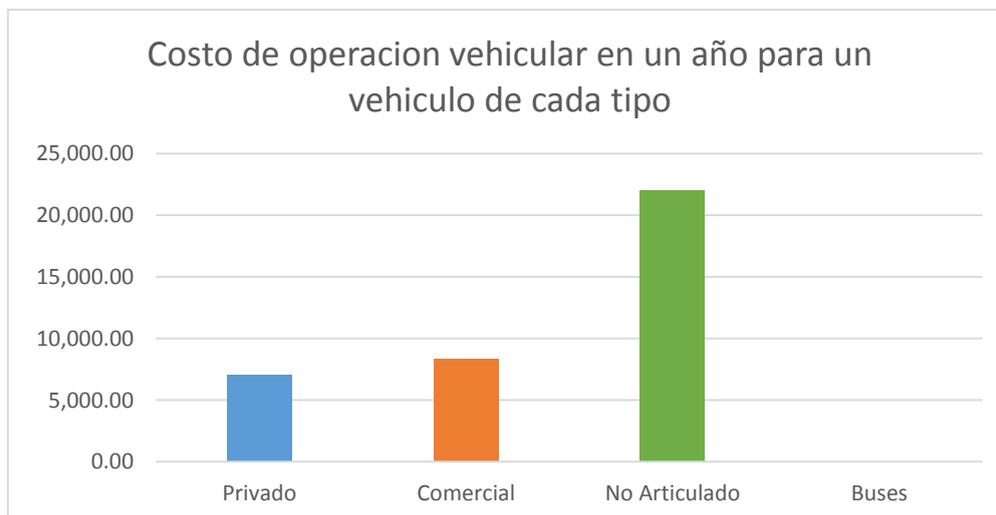
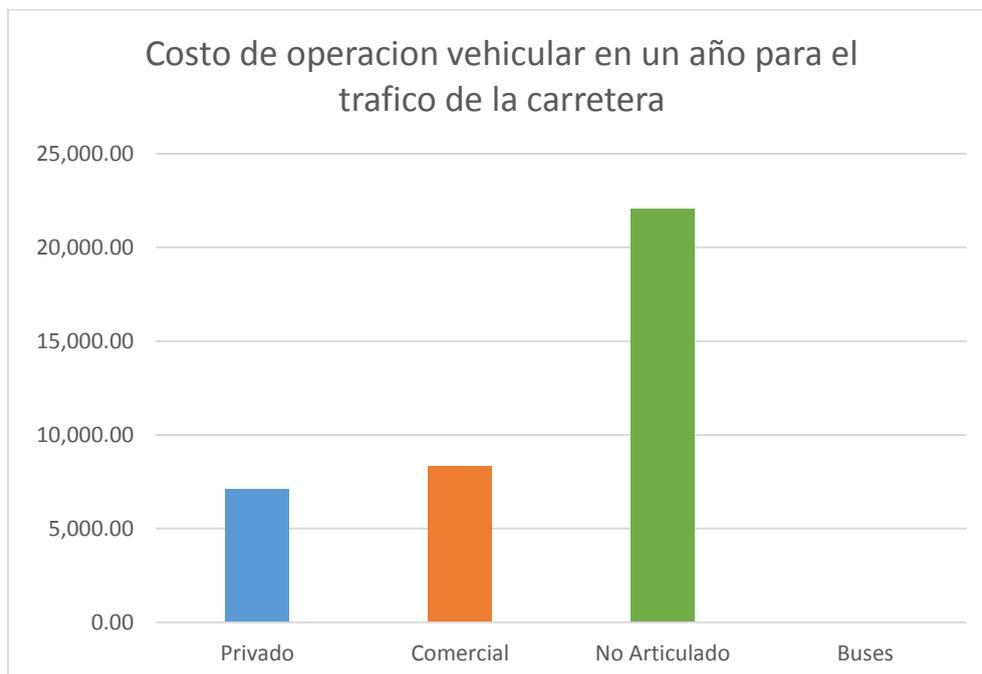


Figura 23: Costo de operación para el tráfico dado en la carretera, para un año.



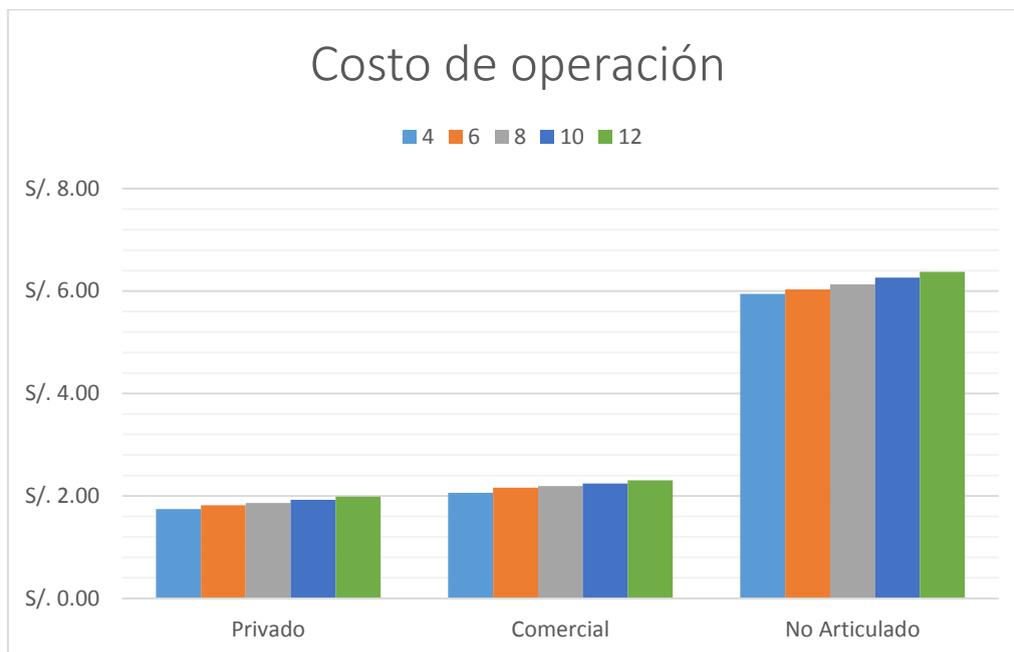
También se calculó el costo de operación para diferentes índices de rugosidad internacional con la misma metodología. Con lo que se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 37: Costos por índice de rugosidad internacional para los tipos de vehículos que transitan la vía.

Tipo de vehículo	IRI				
	4	6	8	10	12
<i>Privado</i>	S/. 1.75	S/. 1.82	S/. 1.86	S/. 1.92	S/. 1.98
<i>Comercial</i>	S/. 2.06	S/. 2.16	S/. 2.19	S/. 2.24	S/. 2.30
<i>No Articulado</i>	S/. 5.95	S/. 6.03	S/. 6.13	S/. 6.26	S/. 6.38
<i>Buses</i>	S/. 0.00				

Visto de mejor manera en la siguiente figura, donde se ve el incremento del costo de operación por el índice de rugosidad internacional.

Figura 24: Costo de operación para el tráfico dado en la carretera, para un año

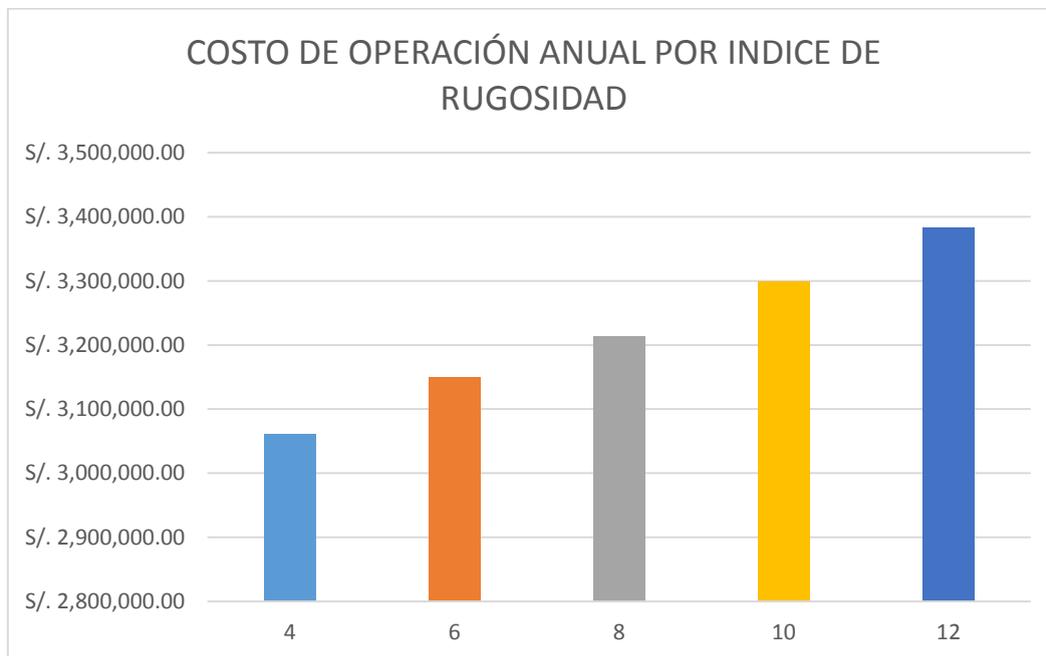


En el siguiente cuadro podemos observar los costos de operación para el tráfico calculado y la sumatoria, que es el costo de operación total por año para los diferentes índices de rugosidad. La tabla indica un costo mayor en el costo de operación de los vehículos privados, esto debido a que transitan más vehículos privados por esta carretera.

Tabla 38: Costos de operación anual por el tráfico y por índices de rugosidad internacional

Tipo de vehículo	IRI				
	4	6	8	10	12
<i>Privado</i>	S/. 1,505,031.23	S/. 1,568,527.65	S/. 1,605,950.41	S/. 1,658,421.61	S/. 1,710,645.77
<i>Comercial</i>	S/. 93,646.60	S/. 98,051.44	S/. 99,435.17	S/. 101,805.34	S/. 104,615.06
<i>No Articulado</i>	S/. 1,461,879.08	S/. 1,483,534.77	S/. 1,507,875.59	S/. 1,539,344.82	S/. 1,567,798.33
<i>Buses</i>	S/. 0.00				
	S/. 3,060,556.91	S/. 3,150,113.85	S/. 3,213,261.16	S/. 3,299,571.77	S/. 3,383,059.15

Figura 25: Costos de operación total por año para los índices de rugosidad indicados.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Mantenimiento

Se analizará el mantenimiento periódico para los índices de rugosidad indicados, que son IRI⁴⁴ de cuatro, seis, ocho, diez, doce y catorce. Para lo cual se consideró la reposición de afirmado como partida principal y se elaboró presupuestos de mantenimiento periódico para los diferentes índices de rugosidad mencionados.

Para un índice de rugosidad de 4 el mantenimiento para regresar a un estado óptimo de IRI, tendrá el siguiente presupuesto considerando una reposición de material mínima de 5% y que el tiempo que se mantendrá en esas condiciones será de dos meses.

⁴⁴ IRI: Índice de rugosidad internacional

Tabla 39: Costo de mantenimiento para un índice de rugosidad de 4.

810

Página

1

Presupuesto

Presupuesto 0201003 COSTO DE MANTENIMIENTO
 Subpresupuesto 001 COSTO DE MANTENIMIENTO IRI 4
 Cliente S10 S.A.C. Costo al 06/12/2016
 Lugar JUNIN - HUANCAYO - YILCACOTO

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PRELIMINARES				82,188.86
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS - MANTENIMIENTO	plb	1.00	30,976.47	30,976.47
01.02	NIVELACION Y REPLANTEO	km	47.78	520.03	25,102.38
02	PAVIMENTOS				41,447.88
02.01	REPOSICION DE AFIRMADO	m3	1,374.25	30.10	41,447.38
03	TRANSPORTE				101,117.82
03.01	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<1 km	m3k	1,374.25	13.82	18,992.14
03.02	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D=10 km	m3k	12,368.25	0.04	82,125.18
04	IMPACTO AMBIENTAL				7,160.00
04.01	RESTAURACION DE CANTERAS	m2	3,200.00	1.82	5,824.00
04.02	RESTAURACION DEL PATIO DE MAQUINAS	m2	850.00	1.50	1,326.00
05	SEÑALIZACION				8,204.20
05.01	HITOS KILOMÉTRICOS	und	35.00	236.12	8,204.20
	Costo Directo				220,117.76

Para un índice de rugosidad de 6 el mantenimiento para regresar a un estado óptimo de IRI, tendrá el siguiente presupuesto considerando una reposición de material mínima de 15% y que el tiempo que se mantendrá en esas condiciones será de cuatro meses.

Tabla 40: Costo de mantenimiento para un índice de rugosidad de 6.

Presupuesto					
Presupuesto	0201003	COSTO DE MANTENIMIENTO			
Subpresupuesto	002	COSTO DE MANTENIMIENTO IRI 6			
Cliente	S10 S.A.C.		Costo al	06/12/2016	
Lugar	JUNIN - HUANCAYO - VILCACOTO				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PRELIMINARES				62,138.85
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS - MANTENIMIENTO	gib	1.00	36,976.47	36,976.47
01.02	NIVELACIÓN Y REPLANTEO	km	47.78	526.63	25,162.38
02	PAVIMENTOS				124,342.14
02.01	REPOSICIÓN DE AFIRMADO	m3	4,122.75	30.16	124,342.14
03	TRANSPORTE				303,351.95
03.01	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<1 km	m3k	4,122.75	13.82	56,976.41
03.02	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D=10 km	m3k	37,104.75	6.64	246,375.54
04	IMPACTO AMBIENTAL				7,150.00
04.01	RESTAURACION DE CANTERAS	m2	3,200.00	1.82	5,824.00
04.02	RESTAURACION DEL PATIO DE MAQUINAS	m2	850.00	1.56	1,326.00
05	SEÑALIZACION				8,264.20
05.01	HITOS KILOMÉTRICOS	und	35.00	236.12	8,264.20
	Costo Directo				505,247.14

Para un índice de rugosidad de 8 el mantenimiento para regresar a un estado óptimo de IRI, tendrá el siguiente presupuesto considerando una reposición de material mínima de 20% y que el tiempo que se mantendrá en esas condiciones será de dos meses.

Tabla 41: Costo de mantenimiento para un índice de rugosidad de 8.

Presupuesto

Presupuesto **0201003 COSTO DE MANTENIMIENTO**
 Subpresupuesto **003 COSTO DE MANTENIMIENTO IRI 8**
 Cliente **S10 S.A.C.** Costo al **06/12/2016**
 Lugar **JUNIN - HUANCAYO - VILCACOTO**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PRELIMINARES				62,138.85
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS - MANTENIMIENTO	g lb	1.00	36,976.47	36,976.47
01.02	NIVELACIÓN Y REPLANTEO	km	47.78	526.63	25,162.38
02	PAVIMENTOS				165,789.52
02.01	REPOSICIÓN DE AFIRMADO	m3	5,497.00	30.16	165,789.52
03	TRANSPORTE				404,469.26
03.01	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<1 km	m3k	5,497.00	13.82	75,968.54
03.02	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D=10 km	m3k	49,473.00	6.64	328,500.72
04	IMPACTO AMBIENTAL				7,150.00
04.01	RESTAURACION DE CANTERAS	m2	3,200.00	1.82	5,824.00
04.02	RESTAURACION DEL PATIO DE MAQUINAS	m2	850.00	1.56	1,326.00
05	SEÑALIZACION				8,264.20
05.01	HITOS KILOMÉTRICOS	und	35.00	236.12	8,264.20
	Costo Directo				647,811.83

Para un índice de rugosidad de 10 el mantenimiento para regresar a un estado óptimo de IRI, tendrá el siguiente presupuesto considerando una reposición de material mínima de 30% y que el tiempo que se mantendrá en esas condiciones será de cuatro meses.

Tabla 42: Costo de mantenimiento para un índice de rugosidad de 10.

S10

Página

1

Presupuesto

Presupuesto 0201003 COSTO DE MANTENIMIENTO
 Subpresupuesto 004 COSTO DE MANTENIMIENTO IRI 10
 Cliente S10 S.A.C. Costo al 06/12/2016
 Lugar JUNIN - HUANCAYO - VILCACOTO

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PRELIMINARES				62,138.85
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS - MANTENIMIENTO	gb	1.00	36,976.47	36,976.47
01.02	NIVELACIÓN Y REPLANTEO	km	47.78	526.63	25,162.38
02	PAVIMENTOS				248,684.28
02.01	REPOSICIÓN DE AFIRMADO	m3	8,245.50	30.16	248,684.28
03	TRANSPORTE				606,703.89
03.01	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<1 km	m3k	8,245.50	13.82	113,952.81
03.02	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D=10 km	m3k	74,209.50	6.64	492,751.08
04	IMPACTO AMBIENTAL				7,150.00
04.01	RESTAURACION DE CANTERAS	m2	3,200.00	1.82	5,824.00
04.02	RESTAURACION DEL PATIO DE MAQUINAS	m2	850.00	1.56	1,326.00
05	SEÑALIZACION				8,264.20
05.01	HITOS KILOMÉTRICOS	und	35.00	236.12	8,264.20
	Costo Directo				932,941.22

Para un índice de rugosidad de 12 el mantenimiento para regresar a un estado óptimo de IRI, tendrá el siguiente presupuesto considerando una reposición de material mínima de 45% y que el tiempo que se mantendrá en esas condiciones será de cuatro meses.

Tabla 43: Costo de mantenimiento para un índice de rugosidad de 12.

S10

Página 1

Presupuesto

Presupuesto 0201003 COSTO DE MANTENIMIENTO
 Subpresupuesto 005 COSTO DE MANTENIMIENTO IRI 12
 Cliente S10 S.A.C. Costo al 06/12/2016
 Lugar JUNIN - HUANCAYO - VILCACOTO

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PRELIMINARES				62,138.85
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS - MANTENIMIENTO	gb	1.00	36,976.47	36,976.47
01.02	NIVELACION Y REPLANTEO	km	47.78	526.63	25,162.38
02	PAVIMENTOS				373,026.42
02.01	REPOSICIÓN DE AFIRMADO	m3	12,368.25	30.16	373,026.42
03	TRANSPORTE				910,055.84
03.01	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<1 km	m3k	12,368.25	13.82	170,929.22
03.02	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D=10 km	m3k	111,314.25	6.64	739,126.62
04	IMPACTO AMBIENTAL				7,150.00
04.01	RESTAURACION DE CANTERAS	m2	3,200.00	1.82	5,824.00
04.02	RESTAURACION DEL PATIO DE MAQUINAS	m2	850.00	1.56	1,326.00
05	SEÑALIZACION				8,264.20
05.01	HITOS KILOMÉTRICOS	und	35.00	236.12	8,264.20
	Costo Directo				1,360,635.31

En la siguiente tabla se muestra el costo de mantenimiento para los índices de rugosidad internacional mencionados. Las variantes de los costos se deben a la variación del metrado de las siguientes partidas.

- Reposición de afirmado
- Transporte de material granular D<1 km
- Transporte de material granular D=10 km

Tabla 44: Costo de mantenimiento para diferentes índices de rugosidad

IRI	COSTO MANTENIMIENTO
4	S/. 131,305.93
6	S/. 238,811.69
8	S/. 292,564.57
10	S/. 400,070.34
12	S/. 561,328.98

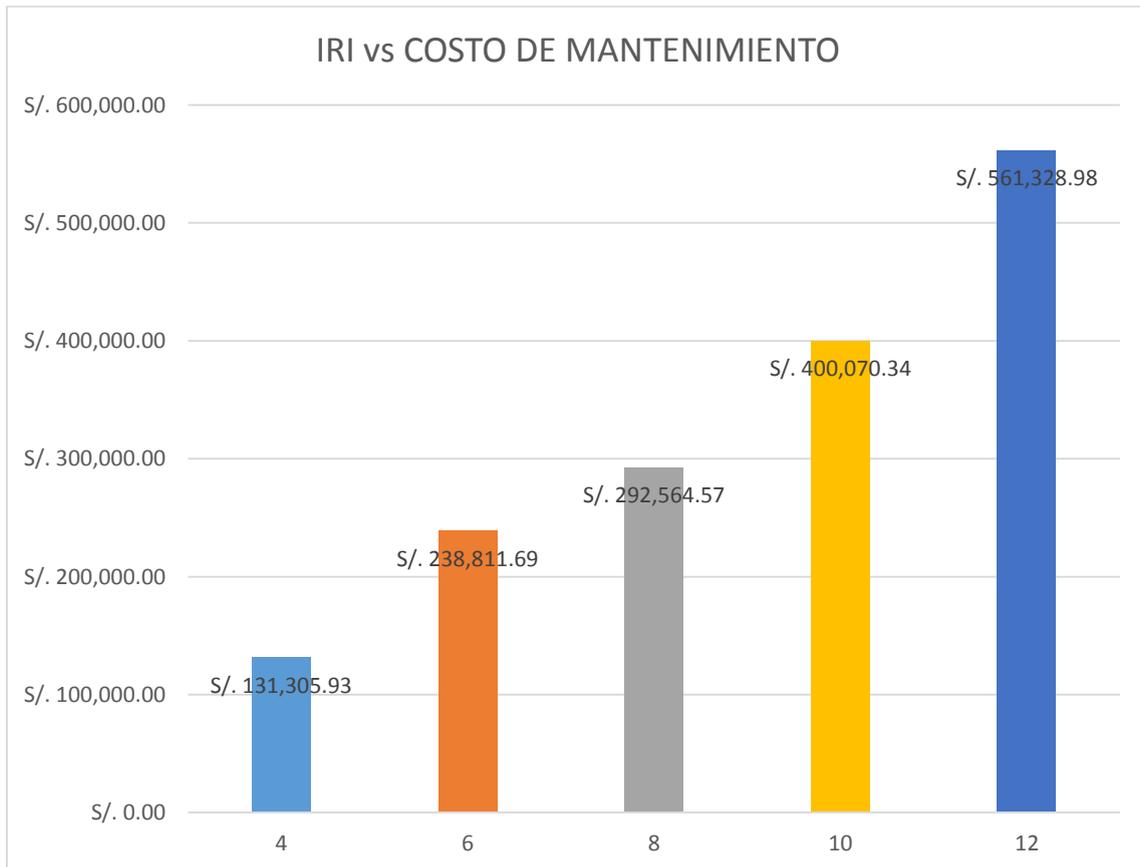
En la siguiente tabla se presenta el Índice de rugosidad internacional relacionado con el tiempo en el que se mantiene o llega a dicho índice.

Tabla 45: Índice de rugosidad vs tiempo.

IRI	TIEMPO
4	2 meses
6	6 meses
8	8 meses
10	12 meses
12	18 meses

La representación gráfica de la tabla anterior se aprecia a continuación.

Figura 26: Costo de mantenimiento para diferentes índices de rugosidad



Realizando una comparación del mantenimiento periódico evaluando el índice de rugosidad internacional y considerando el costo de operación para los tiempos en que se mantendrá la rugosidad, tenemos los siguientes costos.

Tabla 46: Costos de operación y mantenimiento según el análisis para los diferentes índices de rugosidad.

IRI	MANTENIMIENTO	COSTO DE OPERACIÓN	SUMA
4	S/. 1,575,671.17	S/. 6,037,262.94	S/. 7,612,934.11
6	S/. 955,246.77	S/. 6,155,036.46	S/. 7,110,283.23
8	S/. 877,693.72	S/. 6,200,899.29	S/. 7,078,593.01
10	S/. 800,140.67	S/. 6,303,514.29	S/. 7,103,654.97
12	S/. 748,438.64	S/. 6,426,820.11	S/. 7,175,258.75

Figura 27: Costo de operación según análisis para los diferentes índices de rugosidad.

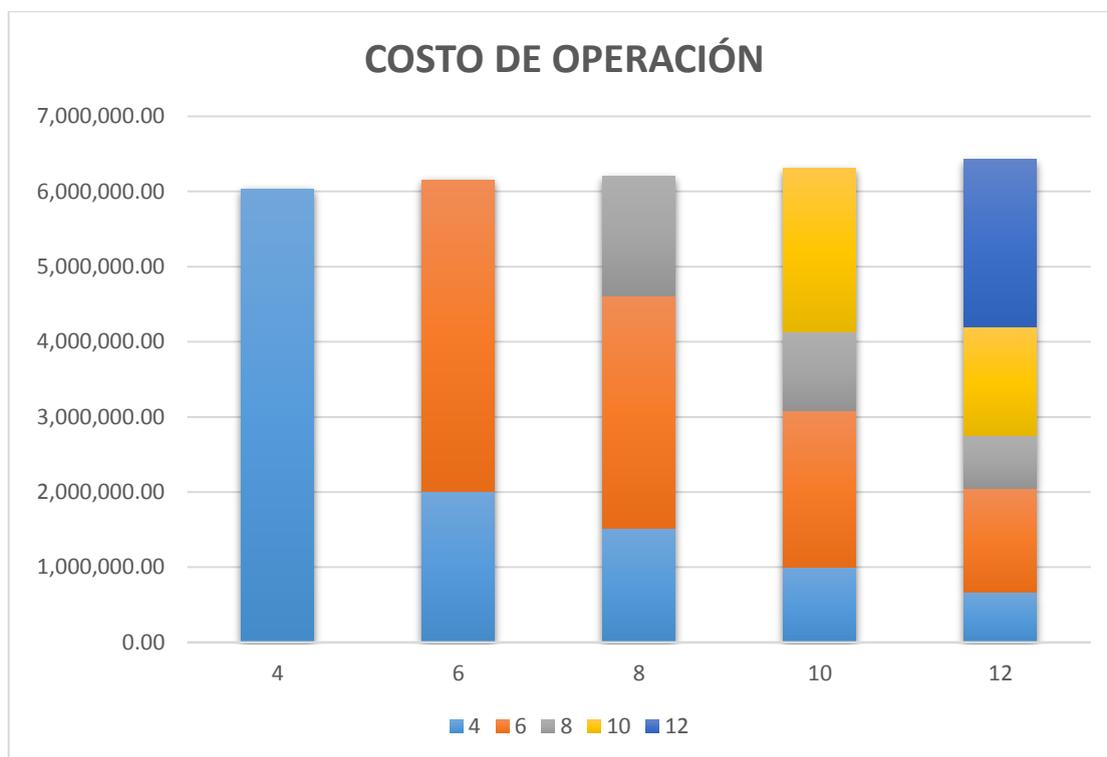
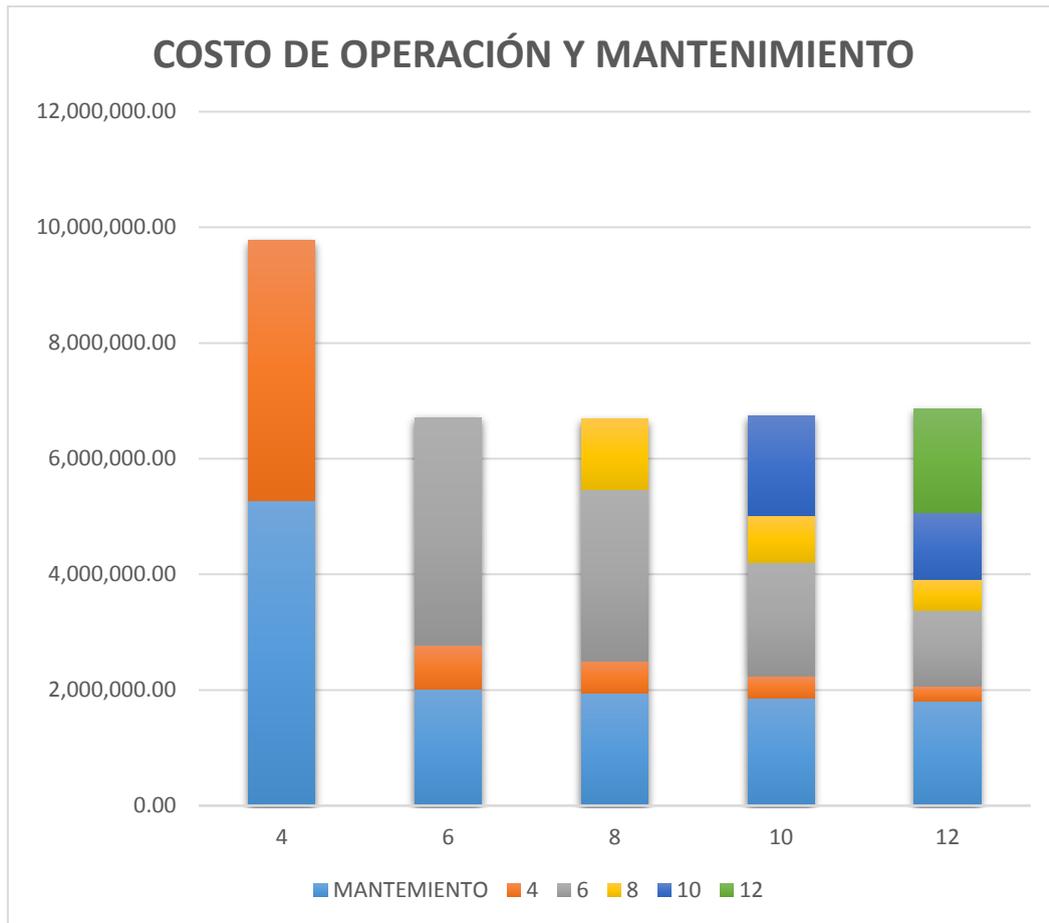


Figura 28: Costo de operación y mantenimiento según análisis para los diferentes índices de rugosidad



4.2. PRUEBAS DE NORMALIDAD

Índice De Rugosidad Internacional

Tabla 47. Pruebas de normalidad para IRI.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
IRI	,136	5	,200*	,987	5	,967

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Velocidades Para Vehículos Privados

Tabla 48. Pruebas de normalidad Velocidades para vehículos privados.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
VO	,211	5	,200*	,892	5	,366

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Velocidades Para Vehículos Comerciales

Tabla 49. Pruebas de normalidad Velocidades para vehículos comerciales.

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
VO	,211	5	,200*	,892	5	,366

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Velocidades Para Vehículos No Articulados

Tabla 50. Pruebas de normalidad Velocidades para vehículos no articulados.

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
VO	,211	5	,200*	,892	5	,365

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Costo De Operación Para Vehículos Privados

Tabla 51. Pruebas de normalidad costo de operación para vehículos privados.

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
COV	,130	5	,200*	,994	5	,992

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Costo De Operación Para Vehículos Comerciales

Tabla 52. Pruebas de normalidad costo de operación para vehículos comerciales.

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
COV	,162	5	,200*	,990	5	,980

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Costo De Operación Para Vehículos No Articulados

Tabla 53. Pruebas de normalidad costo de operación para vehículos no articulados.

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
COV	,150	5	,200*	,977	5	,917

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

En todos los casos se toma la prueba de Shapiro-Wilk por contar con menos de 50 elementos. Y como el valor resaltado es mayor que el nivel de significancia asumido de 0.05, podemos decir que pertenecen a una distribución normal.

4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) VS VELOCIDAD DE OPERACIÓN (VO) VEHÍCULOS PRIVADOS

Hipótesis:

Ho: La regularidad Superficial (IRI) influye en la velocidad de los vehículos privados en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

H1: La regularidad Superficial (IRI) no influye en la velocidad de los vehículos privados en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

Nivel de significancia:

Nivel de significancia (α): 5% = 0.05

Estadístico de Prueba:

Tabla 54. Correlación de Pearson IRI vs Velocidad de operación de operación Vehículos privados.

		IRI	VO
IRI	Correlación de Pearson	1	-,919**
	Sig. (bilateral)		,010
	N	6	6
VO	Correlación de Pearson	-,919**	1
	Sig. (bilateral)	,010	
	N	6	6

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Valor de P 0.009569 R de Pearson -,919 = -91.9%

Lectura del p-valor

Con una probabilidad de error de 0.957% existe correlación entre el Índice de Rugosidad Internacional y la velocidad de Operación de vehículos privados.

Toma de decisiones e interpretación

Existe buena correlación negativa o inversa ($R = -0.919$), entre el Índice de Rugosidad Internacional y la Velocidad de Operación de vehículos privados.

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) VS VELOCIDAD DE OPERACIÓN (VO) VEHÍCULOS COMERCIALES

Hipótesis:

Ho: La regularidad Superficial (IRI) influye en la velocidad de los vehículos comerciales en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

H1: La regularidad Superficial (IRI) no influye en la velocidad de los vehículos comerciales en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

Nivel de significancia:

Nivel de significancia (α): 5% = 0.05

Estadístico de Prueba:

Tabla 55. Correlación de Pearson IRI vs Velocidad de operación de operación Vehículos comerciales.

		IRI	VO
IRI	Correlación de Pearson	1	-,919**
	Sig. (bilateral)		,010
	N	6	6
VO	Correlación de Pearson	-,919**	1
	Sig. (bilateral)	,010	
	N	6	6

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Valor de P 0.0095758 R de Pearson -,919 = -91.9%

Lectura del p-valor

Con una probabilidad de error de 0.95758% existe correlación entre el Índice de Rugosidad Internacional y la velocidad de Operación de vehículos comerciales.

Toma de decisiones e interpretación

Existe buena correlación negativa o inversa ($R = -0.919$), entre el Índice de Rugosidad Internacional y la Velocidad de Operación de vehículos comerciales.

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) VS VELOCIDAD DE OPERACIÓN (VO) VEHÍCULOS NO ARTICULADOS

Hipótesis:

Ho: La regularidad Superficial (IRI) influye en la velocidad de los vehículos no articulados en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

H1: La regularidad Superficial (IRI) no influye en la velocidad de los vehículos no articulados en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

Nivel de significancia:

Nivel de significancia (α): 5% = 0.05

Estadístico de Prueba:

Tabla 56. Correlación de Pearson IRI vs Velocidad de operación de operación Vehículos no articulados.

		IRI	VO
IRI	Correlación de Pearson	1	-,941**
	Sig. (bilateral)		,005
	N	6	6
VO	Correlación de Pearson	-,941**	1
	Sig. (bilateral)	,005	
	N	6	6

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Valor de P _____ 0.005121 _____ **R de Pearson** _____ -,941 = -94.1% _____

Lectura del p-valor

Con una probabilidad de error de 0.5121% existe correlación entre el Índice de Rugosidad Internacional y la velocidad de Operación de vehículos no articulados.

Toma de decisiones e interpretación

Existe buena correlación negativa o inversa ($R = -0.941$), entre el Índice de Rugosidad Internacional y la Velocidad de Operación de vehículos no articulados.

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) VS VELOCIDAD DE OPERACIÓN (VO) DE BUSES

Hipótesis:

H_0 : La regularidad Superficial (IRI) influye en la velocidad de los buses en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

H_1 : La regularidad Superficial (IRI) no influye en la velocidad de los buses en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

Nivel de significancia:

Nivel de significancia (α): _____ **5% = 0.05** _____

Estadístico de Prueba:

Tabla 57. Correlación de Pearson IRI vs Velocidad de operación de operación de buses.

		IRI	VO
IRI	Correlación de Pearson	1	-,919**
	Sig. (bilateral)		,010
	N	6	6
VO	Correlación de Pearson	-,919**	1
	Sig. (bilateral)	,010	
	N	6	6

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Valor de P _____ 0.00961 _____ R de Pearson _____ -,919 = -91.9% _____

Lectura del p-valor

Con una probabilidad de error de 0.961% existe correlación entre el Índice de Rugosidad Internacional y la velocidad de Operación de buses.

Toma de decisiones e interpretación

Existe buena correlación negativa o inversa ($R = -0.919$), entre el Índice de Rugosidad Internacional y la Velocidad de Operación de vehículos buses.

4.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) VS COSTO DE OPERACIÓN (COV) VEHÍCULOS PRIVADOS

Hipótesis:

Ho: La regularidad Superficial (IRI) influye en el costo de operación de los vehículos privados en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

H1: La regularidad Superficial (IRI) no influye en el costo de operación de los vehículos privados en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

Nivel de significancia:

Nivel de significancia (α): 5% = 0.05

Estadístico de Prueba:

Tabla 58. Correlación de Pearson IRI vs Costo de operación de operación Vehículos privados.

		IRI	COV
IRI	Correlación de Pearson	1	,998**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	6	6
COV	Correlación de Pearson	,998**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	6	6

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Valor de P 0.0000067445 **R de Pearson** 0.998 = 99.8%

Lectura del p-valor

Con una probabilidad de error de 0.000067445% existe correlación entre el Índice de Rugosidad Internacional y el costo de Operación de vehículos privados.

Toma de decisiones e interpretación

Existe buena correlación positiva o directa (R = 0.998), entre el Índice de Rugosidad Internacional y el costo de Operación de vehículos privados.

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) VS COSTO DE OPERACIÓN (COV) VEHÍCULOS COMERCIALES

Hipótesis:

Ho: La regularidad Superficial (IRI) influye en el costo de operación de los vehículos comerciales en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

H1: La regularidad Superficial (IRI) no influye en el costo de operación de los vehículos comerciales en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

Nivel de significancia:

Nivel de significancia (α): 5% = 0.05

Estadístico de Prueba:

Tabla 59. Correlación de Pearson IRI vs Costo de operación de operación Vehículos comerciales.

		IRI	COV
IRI	Correlación de Pearson	1	,987**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	6	6
COV	Correlación de Pearson	,987**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	6	6

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Valor de P 0.0002655 R de Pearson 0.987 = 98.7%

Lectura del p-valor

Con una probabilidad de error de 0.02655% existe correlación entre el Índice de Rugosidad Internacional y el costo de Operación de vehículos comerciales.

Toma de decisiones e interpretación

Existe buena correlación positiva o directa ($R = 0.987$), entre el Índice de Rugosidad Internacional y el costo de Operación de vehículos comerciales.

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) VS COSTO DE OPERACIÓN (COV) VEHÍCULOS NO ARTICULADOS

Hipótesis:

Ho: La regularidad Superficial (IRI) influye en el costo de operación de los vehículos no articulados en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

H1: La regularidad Superficial (IRI) no influye en el costo de operación de los vehículos no articulados en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

Nivel de significancia:

Nivel de significancia (α): 5% = 0.05

Estadístico de Prueba:

Tabla 60. Correlación de Pearson IRI vs Costo de operación de operación Vehículos no articulados.

		IRI	COV
IRI	Correlación de Pearson	1	,999**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	6	6
COV	Correlación de Pearson	,999**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	6	6

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Valor de P 0.000002412 R de Pearson 0.941 = 94.1%

Lectura del p-valor

Con una probabilidad de error de 0.0002412 % existe correlación entre el Índice de Rugosidad Internacional y el costo de Operación de vehículos no articulados.

Toma de decisiones e interpretación

Existe buena correlación positiva o directa ($R = 0.999$), entre el Índice de Rugosidad Internacional y el costo de Operación de vehículos no articulados.

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) VS COSTO DE OPERACIÓN (COV) DE BUSES

Hipótesis:

Ho: La regularidad Superficial (IRI) influye en el costo de operación los buses en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

H1: La regularidad Superficial (IRI) no influye en el costo operación de los buses en la carretera Vilcacoto - Acopalca.

Nivel de significancia:

Nivel de significancia (α): _____5% = 0.05_____

Estadístico de Prueba:

Tabla 61. Correlación de Pearson IRI vs Costo de operación de operación de buses.

		IRI	COV
IRI	Correlación de Pearson	1	,994**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	6	6
COV	Correlación de Pearson	,994**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	6	6

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Valor de P 0.00005344 R de Pearson 0.994 = 99.4%

Lectura del p-valor

Con una probabilidad de error de 0.005344% existe correlación entre el Índice de Rugosidad Internacional y el costo de Operación de buses.

Toma de decisiones e interpretación

Existe buena correlación positiva o directa (R = 0.994), entre el Índice de Rugosidad Internacional y el costo de Operación de vehículos buses.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONCLUSIONES

- Se determinó que mientras sea mayor el Índice de Rugosidad Internacional, el costo de operación será mayor, ya que el costo de operación vehicular se ajusta por rugosidad y este aumenta para tal efecto, obteniéndose un Índice de Rugosidad Internacional característico para la carretera de **8.29**, a partir de dicho IRI se obtuvo velocidades de operación para los cuatro tipos de vehículos que transitan por dicha carretera, siendo el promedio de dichas velocidades **52.5 km/h** para la carretera Vilcacoto - Acopalca. Es necesario ya, el mantenimiento de dicha carretera, ya que mientras transcurra el tiempo, el costo de operación sigue aumentando y el costo de mantenimiento también como lo podemos apreciar en la Tabla 46.
- La velocidad de operación vehicular es afectada por la rugosidad de la carretera, así como también por las curvas verticales y horizontales baches, encalaminado y erosión a lo largo de la carretera. Teniendo mayor efecto en los camiones, siendo la velocidad de operación vehicular de estos de 47.24 km/h, mientras que para los vehículos particulares y comerciales 50.42 km/h y 50.06 km/h respectivamente.
- Los costos de operación dependen de la velocidad de operación y también se ven afectados por la rugosidad, el tráfico vehicular, la

pendiente. Siendo los costos de operación para vehículos particulares de S/.19.39 por día para el tramo de carretera de 10.4 km, para vehículos comerciales de S/. 22.77 por día, para camiones es de S/. 60.42 por día. Y un costo de operación anual de la carretera para todos los vehículos de S/. 3, 146,566.05 para todo el año. Estos costos de operación vehicular incluyen el combustible, aceites, repuestos y mantenimiento, depreciación, etc. Siendo el costo de combustible el mayor de ellos.

- El costo de mantenimiento será mayor cuanto mayor sea el índice de rugosidad sin embargo como se observa en la Tabla 46, estos disminuyen con respecto a los índices de rugosidad, ya que para mantener el índice de rugosidad, se requiere hacer más veces el mantenimiento mientras que para índices de rugosidad más alto se requiere menos veces de mantenimiento. Adicionando también el costo de operación a estos costos de mantenimiento se obtiene los costos de la tercera columna de la Tabla 46, teniendo como menor costo el que corresponde a un índice de rugosidad internacional de ocho.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuras investigaciones plantear un ajuste o insertar el Índice de rugosidad internacional en la metodología de cálculo del costo de operación, siguiendo un estudio muy detallado para nuestro país.
- Se sugiere relacionar directamente el IRI, la velocidad de operación, los costos de operación y el nivel de servicio en una sola metodología para vías en el nivel de afirmado que son una parte considerable del total de vías a nivel nacional. Sería una investigación muy complicada y costosa, pero sería de suma importancia, ya que generalmente nos basamos en investigaciones internacionales que se aproximan, pero nos reflejan muchas veces la realidad del país; además que es muy necesario para la evaluación y conservación de vías no pavimentadas.
- El equipo MERLÍN es muy recomendable para las condiciones y situación de nuestra región y nuestro país, ya que su manejo es muy fácil, sus costos son bajos en comparación a otros métodos de obtención de IRI y sus resultados son muy confiables. La implementación de este equipo para las instituciones que supervisan y evalúan las condiciones de las carreteras en nivel de afirmado sería muy beneficioso.
- Se recomienda analizar la variación de los tiempos en que permanece una vía con una cierta rugosidad, ya que esta, dependerá del tráfico, pendientes, ancho de carril y otros factores que son los mismos para otras carreteras.
- Los formatos usados para la recolección de datos son los indicados en los anexos para la obtención del Índice de Rugosidad Internacional con el equipo de MERLIN, el cual es un equipo que si bien tiene un bajo rendimiento (2km/h), tiene un bajo costo y una gran precisión. Este método es conveniente para tramos no muy largos de carreteras no pavimentadas por sus características, ya que estas se adecuan a las necesidades de la región y del país.

CAPÍTULO VI: Bibliografía

- [1] Instituto Vial Provincial, *Inventario Vial Georeferencial*, Huancayo, Junín, 2016.
- [2] Ministerio de transportes y comunicaciones, Manual de carreteras. Especificaciones técnicas generales para la construcción EG - 2013, Lima, 2013.
- [3] M. Pradena Miquel, *Análisis de Regularidad Superficial en Caminos Pavimentados*, 2006.
- [4] M. Pradena Miquel, *Análisis de Regularidad Superficial en Caminos Pavimentados*, 2006.
- [5] American Society for Testing and Materials, *ASTM E 867 Terminology Relating to Traveled Surface Characteristics*, 1995.
- [6] Instituto Nacional de Vías. Norma I.N.V.E. - 790 - 07, *Determinación del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) para medir la rugosidad de los pavimentos*, Bogotá: LTDA, 2007.
- [7] G. B. Vargas, «Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI),» 2008-2009.

- [8] Ventura, J.; Alvarenga, E.; Unidad de Investigación y Desarrollo Vial. Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano. República del Salvador, *Determinación del índice de regularidad internacional (IRI).*, 2005.
- [9] W. Carey y P. Irick, «" The Pavement Serviceability-Performance Concept."», *HRB Boletín 250*, pp. 1-26, 1960.
- [10] N. 330/98, *CALCULO DEL INDICE DE REGULARIDAD (IRI) EN PAVIEMNTOS DE CARRETERAS.*
- [11] T. G. Ruiz, «ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL,» 2004.
- [12] P. Del Aguila Rodríguez, *Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos con equipo de bajo costo y gran precisión.*
- [13] Queensland Government, *Cost-benefit Analysis Manual*, 2011.
- [14] American Society for Testing and Materials, *ASTM E 867 Terminology Relating to Traveled Surface Characteristics*, 1995.
- [15] American Association of State Highway and Transportation Officials, *Guía para el diseño de estructuras de pavimento*, Washington: AASHTO, 1993.
- [16] M. C. Arriaga Patiño, P. Garnica Anguas y A. Rico Rodríguez, *Índice Internacional de Rugosidad en la red carretera de México*, Sanfandila, Queretaro, 1998.
- [17] J. E. Montoya Goicochea, *Ánalisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú*, Lima, 2013.
- [18] J. C. Onofre Calderón, J. C. Sánchez Pérez y W. Santiago Viana, *Determinación del Índice de Rugosidad Internacional de pavimento usando el perfilometro Romdas Z-250*, 2008.
- [19] H. M. CHOQUE SÁNCHEZ, *Evaluación de ditivos químicos en la eficiencia de la conservación de superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas.*, Lima, 2012.

- [20] Programa de infraestructura del transporte, *Propuesta para la definición de un procedimiento de medición y análisis del Índice de Regularidad internacional*, San José, 2014.
- [21] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual - Special Report 209*, Washington, D.C., 1998.
- [22] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, «MTC - Informes y publicaciones/Transportes,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.mtc.gob.pe/estadisticas/transportes.html>.

ANEXOS

1. Matriz de consistencia

“EFECTO DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL EN LA VARIACIÓN DEL COSTO DE OPERACIÓN VEHICULAR, EN LA CARRETERA VILCACOTO – ACOPALCA. HUANCAYO 2017”					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	JUSTIFICACION	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
Problemas General:	Objetivo General:	Teórica:	Hipótesis General:	VARIABLES DEPENDIENTES	
¿Cuál es el efecto del índice de regularidad superficial en la variación del costo de operación vehicular, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017?	Determinar el efecto del índice de regularidad superficial en la variación del costo de operación vehicular, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017.	La presente investigación se justifica debido a las entidades encargadas de gestionar las vías de acceso locales, no cuentan en la actualidad con herramientas efectivas que las permitan una adecuada toma de decisiones respecto a la conservación de sus vías.	El índice de regularidad superficial influye en la variación del costo de operación vehicular, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017	COSTO DE OPERACIÓN VEHICULAR	Aplicativo
Problemas Especifico:	Objetivo Específicos:		Hipótesis Específicos:	VARIABLES INDEPENDIENTES	
¿Cómo el nivel de afirmado influye los intervalos del índice de regularidad superficial en la variación del costo de operación vehicular, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017?	Calcular como el nivel de afirmado influye los intervalos del índice de regularidad superficial, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017.		El nivel de afirmado interviene en los intervalos del índice de regularidad superficial, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017.		
¿Cómo el mantenimiento de la vía influye en la reducción del índice de regularidad superficial en la variación del costo de operación vehicular, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017?	Analizar que tanto el mantenimiento de la vía influye en la reducción del índice de regularidad superficial, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017.	Practica: La presente investigación se justifica en necesidad de dar solución, a los bajos niveles de gestión que presentan las entidades responsables velar por el buen estado de las vías, utilizando el INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL IRI, extraído de la vía en estudio, a fin de que se pueda determinar cuál será la medida de rehabilitación más adecuada en base a un valor técnico cara a mejorar el nivel de servicio de la vía.	El mantenimiento de la vía influye en la reducción del índice de regularidad superficial, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017.	REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI)	Correlacional Explicativo
¿Cómo la velocidad de vehículos ligeros y pesados son influenciados por el índice de regularidad superficial en la variación del costo de operación vehicular, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017?	Examinar que la velocidad de vehículos ligeros y pesados son influenciados por el índice de regularidad superficial, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017.		La velocidad de vehículos ligeros y pesados son afectados por el índice de regularidad superficial, en la carretera Vilcacoto – Acopalca, Huancayo 2017.		

2. Datos tomados en campo y elaborados en gabinete, obteniendo el IRI por tramos.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Superficie	Carretera Vilcacoto - Acopalca	Hecho Por	CHRISTIAN BEJARANO
Ubicación	Provincia de Huancayo - Junín		
Progresiva Km.	3+300 ↔ 3+500		

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

LECTURAS CAMPO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	22	31	22	25	37	27	37	18	22	28
2	17	34	20	27	14	3	37	30	36	50
3	50	46	33	29	36	28	26	25	27	29
4	31	35	33	25	31	28	32	29	38	27
5	23	25	33	35	17	43	50	11	18	23
6	28	4	20	15	23	33	31	24	41	35
7	30	29	23	28	29	28	18	30	32	34
8	37	25	32	28	34	35	28	31	21	20
9	20	30	14	31	36	38	26	28	18	9
10	21	29	15	27	29	27	12	16	28	26
11	32	45	19	50	31	18	21	28	22	32
12	25	22	28	25	31	36	14	31	13	28
13	28	17	29	15	30	31	28	34	22	23
14	23	27	33	26	32	15	16	13	36	23
15	39	39	29	32	29	24	21	24	24	22
16	33	30	34	20	28	36	10	26	20	18
17	47	50	50	33	30	25	38	30	1	47
18	46	21	41	41	26	17	28	44	36	26
19	28	26	24	17	24	28	25	31	25	16
20	26	24	21	34	41	27	46	33	31	18

	COLA IZQUIERDA	CENTRO	COLA DERECHA
SUMA	62	37	37
FRENTE	0	0	0
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	9	0	0
13	0	1	0
14	0	0	1
15	0	0	1
16	0	0	1
17	0	0	1
18	0	0	1
19	0	0	1
20	0	0	1
21	0	0	1
22	0	0	1
23	0	0	1
24	0	0	1
25	0	0	1
26	0	0	1
27	0	0	1
28	0	0	1
29	0	0	1
30	0	0	1
31	0	0	1
32	0	0	1
33	0	0	1
34	0	0	1
35	0	0	1
36	0	0	1
37	0	0	1
38	0	0	1
39	0	0	1
40	0	0	1
41	0	0	1
42	0	0	1
43	0	0	1
44	0	0	1
45	0	0	1
46	0	0	1
47	0	0	1
48	0	0	1
49	0	0	1
50	0	0	1

LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN										
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS										
	FRECUENCIAS	LECTURAS								
1	1	X								
2	0									
3	1	X								
4	1	X								
5	0									
6	0									
7	0									
8	0									
9	1	X								
10	1	X								
11	1	X								
12	1	X								
13	2	XX								
14	3	XXX								
15	4	XXXX								
16	3	XXX								
17	5	XXXXX								
18	7	XXXXXX								
19	1	X								
20	6	XXXXXX								
21	6	XXXXXX								
22	7	XXXXXXX								
23	7	XXXXXXX								
24	7	XXXXXXX								
25	10	XXXXXXXXXX								
26	9	XXXXXXXXXX								
27	8	XXXXXXXXXX								
28	19	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX								
29	10	XXXXXXXXXX								
30	8	XXXXXXXXXX								
31	12	XXXXXXXXXXXXXXXXXX								
32	7	XXXXXXX								
33	8	XXXXXXXXXX								
34	6	XXXXXX								
35	4	XXXX								
36	7	XXXXXXX								
37	4	XXXX								
38	3	XXX								
39	2	XX								
40	0									
41	4	XXXX								
42	0									
43	1	X								
44	1	X								
45	1	X								
46	0									
47	3	XXX								
48	2	XX								
49	0									
50	6	XXXXXX								

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200 LECTURAS

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 0.8000

CALCULO DE "D"
 $D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$
 DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA
 HISTOGRAMA: IZQ. - LEVANTAMIENTO CE - CENTRO DER. - HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)			
$R = 0.0485 \times D$ Cuando $IRI < 2.4$			
$R = 0.593 + 0.0471 \times D$ Cuando $2.4 < IRI < 15.9$			
	LEVANTA_MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIEN_TO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	3	-	3
LECTURAS CONSIDERADAS	2	-	1
FRACCIONES RESULTANTES	0.67	31	0.33
SUMA FRACCIONES (CI + CE + CD)	32.00		
Rango "D"	128.00		
IRI	6.62		

Observaciones:

SUMA	62	37	37
MAXIMO	12	9	11
DIFERENCIA	1		2

COLUMNA EXTREM 3	3	3
UTILIZABLE #	2	1
# 0.6667		31 0.3333

#

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Superficie	Carretera Vilcacoto - Acopalca	Hecho Por	CHRISTIAN BEJARANO
Ubicación	Provincia de Huancayo - Junin		
Progresiva Km.	3+700 <> 3+900	Lado	Fecha

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

LECTURAS CAMPO										COLA IZQUIERDA		CENTRO COLA DERECHA		LECTURAS	LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN																																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SUMA		SUMA		FRECUECIAS	HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS																																												
											FRENTE		FRENTE																																															
1	13	15	24	24	23	29	26	32	24	34																																																		
2	31	28	22	30	29	24	30	22	31	37																																																		
3	41	30	22	50	36	22	22	39	17	32																																																		
4	28	32	26	34	25	6	50	17	27	33																																																		
5	40	26	25	1	46	19	15	5	42	8																																																		
6	30	20	14	37	1	41	35	20	1	23																																																		
7	24	37	38	50	34	28	24	38	17	26																																																		
8	36	32	47	39	24	19	45	7	1	31																																																		
9	30	46	50	25	29	50	36	29	16	31																																																		
10	36	22	18	36	25	34	22	33	24	26																																																		
11	23	26	36	50	35	50	17	21	24	42																																																		
12	23	36	29	36	32	34	39	31	21	18																																																		
13	39	19	22	36	27	13	26	27	40	28																																																		
14	22	14	22	36	28	32	16	32	50	50																																																		
15	25	24	50	28	35	32	35	39	18	5																																																		
16	24	28	37	26	27	37	36	20	30	25																																																		
17	19	18	17	19	24	20	24	27	24	31																																																		
18	33	20	25	34	29	19	32	31	17	22																																																		
19	22	27	35	33	22	27	24	35	19	22																																																		
20	13	33	23	21	41	19	33	27	19	26																																																		
CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200 LECTURAS																																																												
FACTOR DE CORRECCION F.C. = 0.8000																																																												
CALCULO DE "D" $D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$ DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO																																																												
CALCULO DE "R" (IRI) $R = 0.0485 \times D$ Cuando $IRI < 2.4$ $R = 0.593 + 0.0471 \times D$ Cuando $2.4 < IRI < 15.9$																																																												
	LEVANTAMIENTO (IZQ.)		CENTRO (CE)		HUNDIMIENTO TO (DER.)																																																							
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	3		-		1																																																							
LECTURAS CONSIDERADAS	2		-		1																																																							
FRACIONES RESULTANTES	0.67		33		1.00																																																							
SUMA FRACIONES (CI + CE + CD)			34.67																																																									
Rango "D"			138.67																																																									
IRI			7.12																																																									

Observaciones:

SUMA	94		41	
MAXIMO	12	9	11	1
DIFERENCIA	1		0	

BBBNBNN

COLUMNA EXTREM 3	3		1	
UTILIZABLE #	2		1	
#	0.6667		33	1.0000

#

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS				
Superficie	Carretera Vilcacoto - Acopalca	Hecho Por	CHRISTIAN BEJARANO	
Ubicación	Provincia de Huancayo - Junín			
Progresiva Km.	4+500 <- 4+700	Lado		Fecha

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

LECTURAS CAMPO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	38	49	43	28	40	13	34	3	19	33
2	4	38	8	13	1	13	41	29	6	23
3	21	46	16	9	42	43	10	8	42	10
4	30	27	49	28	49	8	29	41	43	17
5	9	18	22	23	20	30	1	16	16	37
6	41	25	39	40	23	26	1	26	40	20
7	13	24	46	20	39	7	41	46	14	13
8	34	24	34	16	42	35	26	10	6	18
9	33	30	46	17	47	50	13	11	46	41
10	35	43	9	9	1	29	47	15	5	36
11	9	29	43	13	9	12	26	14	11	5
12	37	32	15	28	40	3	30	1	13	30
13	27	28	18	10	47	5	39	38	22	40
14	24	4	16	36	4	50	5	49	13	37
15	48	47	17	46	31	22	6	18	17	26
16	46	42	39	31	8	2	15	9	45	35
17	18	9	7	6	42	9	26	31	41	4
18	39	1	49	23	24	26	12	27	11	29
19	39	11	15	21	44	15	31	14	9	3
20	14	45	30	9	41	12	41	15	32	23

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200 LECTURAS

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 0.8000

CALCULO DE "D"

$$D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$$

DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSIÓN DEL HISTOGRAMA

HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)

$$R = 0.0485 \times D \text{ Cuando } IRI < 2.4$$

$$R = 0.593 + 0.0471 \times D \text{ Cuando } 2.4 < IRI < 15.9$$

	LEVANTA_MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIEN_TO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	4	-	5
LECTURAS CONSIDERADAS	4	-	3
FRACIONES RESULTANTES	1.00	42	0.60
SUMA FRACIONES (CI + CE + CD)	43.60		
Rango "D"	174.40		
IRI	8.81		

	COLA IZQUIERDA		CENTRO		COLA DERECHA	
	SUMA	FRENTE	SUMA	FRENTE	SUMA	FRENTE
1	6	0	0	0	0	0
2	7	0	0	0	0	0
3	10	0	0	0	0	0
4	14	10	0	0	0	0
5	0	0	1	1	0	0
6	0	0	1	1	0	0
7	0	0	1	1	0	0
8	0	0	1	1	0	0
9	0	0	1	1	0	0
10	0	0	1	1	0	0
11	0	0	1	1	0	0
12	0	0	1	1	0	0
13	0	0	1	1	0	0
14	0	0	1	1	0	0
15	0	0	1	1	0	0
16	0	0	1	1	0	0
17	0	0	1	1	0	0
18	0	0	1	1	0	0
19	0	0	1	1	0	0
20	0	0	1	1	0	0
21	0	0	1	1	0	0
22	0	0	1	1	0	0
23	0	0	1	1	0	0
24	0	0	1	1	0	0
25	0	0	1	1	0	0
26	0	0	1	1	0	0
27	0	0	1	1	0	0
28	0	0	1	1	0	0
29	0	0	1	1	0	0
30	0	0	1	1	0	0
31	0	0	1	1	0	0
32	0	0	1	1	0	0
33	0	0	1	1	0	0
34	0	0	1	1	0	0
35	0	0	1	1	0	0
36	0	0	1	1	0	0
37	0	0	1	1	0	0
38	0	0	1	1	0	0
39	0	0	1	1	0	0
40	0	0	1	1	0	0
41	0	0	1	1	0	0
42	0	0	1	1	0	0
43	0	0	1	1	0	0
44	0	0	1	1	0	0
45	0	0	1	1	0	0
46	0	0	1	1	0	0
47	0	0	1	0	12	0
48	0	0	1	0	8	4
49	0	0	1	0	7	1
50	0	0	1	0	2	5

		LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN									
		HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS									
LECTURAS	FRECUECIAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		6	1	X	X	X	X	X	X	X	X
1	2	X									
3	3	X	X	X							
4	4	X	X	X	X						
4	5	X	X	X	X						
4	6	X	X	X	X						
2	7	X	X								
4	8	X	X	X	X						
11	9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	10	X	X	X	X						
4	11	X	X	X	X						
3	12	X	X	X							
9	13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	14	X	X	X	X						
6	15	X	X	X	X	X					
5	16	X	X	X	X	X					
4	17	X	X	X	X						
5	18	X	X	X	X	X					
1	19	X									
3	20	X	X	X							
2	21	X	X								
3	22	X	X	X							
5	23	X	X	X	X	X					
4	24	X	X	X	X						
1	25	X									
7	26	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	27	X	X	X							
4	28	X	X	X	X						
5	29	X	X	X	X	X					
6	30	X	X	X	X	X					
4	31	X	X	X	X						
2	32	X	X								
2	33	X	X								
3	34	X	X	X							
3	35	X	X	X							
2	36	X	X								
3	37	X	X	X							
3	38	X	X	X							
6	39	X	X	X	X	X					
5	40	X	X	X	X	X					
8	41	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	42	X	X	X	X	X					
5	43	X	X	X	X	X					
1	44	X									
2	45	X	X								
7	46	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	47	X	X	X							
1	48	X									
5	49	X	X	X	X	X					
2	50	X	X								

Observaciones:

SUMA 37 29
MAXIMO 14 10 12 5 BBNBNBN
DIFERENCIA 0 2

COLUMNA EXTREM. 4 4 5
UTILIZABLE # 4 3
1.0000 42 0.6000

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Superficie	Carretera Vilcacoto - Acopalca			Hecho Por	CHRISTIAN BEJARANO
Ubicación	Provincia de Huancayo - Junin				
Progresiva Km.	5+700 <> 5+900	Lado		Fecha	

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

LECTURAS CAMPO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	30	9	38	18	16	20	18	22	48	14
2	44	14	32	50	4	6	16	32	50	25
3	40	41	14	14	29	46	47	9	16	31
4	33	15	45	24	29	37	7	41	40	47
5	11	47	24	21	43	25	32	13	36	29
6	49	36	24	1	15	8	31	4	5	10
7	35	41	29	35	30	1	27	48	25	48
8	12	33	32	10	10	33	24	40	50	26
9	15	48	20	42	22	43	28	45	29	6
10	20	31	4	11	12	20	35	45	22	29
11	46	41	39	10	24	25	6	14	28	7
12	35	36	6	31	17	7	44	11	16	9
13	9	25	16	21	29	43	24	8	29	16
14	27	13	6	45	27	31	5	1	4	40
15	32	39	7	25	2	30	38	46	32	50
16	7	30	45	13	48	27	14	34	32	36
17	34	9	32	13	41	34	20	13	23	5
18	8	49	6	4	24	12	40	23	10	26
19	33	13	30	20	32	41	2	12	39	36
20	3	50	43	26	21	4	3	18	22	46

COLA IZQUIERDA										
SUMA										
FRENTE	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CENTRO COLA DERECHA										
SUMA										
FRENTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FRECUENCIAS LECTURAS		LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN																				
		HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS																				
3	1	X	X	X																		
2	2	X	X																			
2	3	X	X																			
6	4	X	X	X	X	X	X															
3	5	X	X	X																		
6	6	X	X	X	X	X	X															
5	7	X	X	X	X	X																
3	8	X	X	X																		
5	9	X	X	X	X	X																
5	10	X	X	X	X	X																
3	11	X	X	X																		
4	12	X	X	X	X																	
6	13	X	X	X	X	X	X															
6	14	X	X	X	X	X	X															
3	15	X	X	X																		
6	16	X	X	X	X	X	X															
1	17	X																				
3	18	X	X	X																		
0	19																					
6	20	X	X	X	X	X	X															
3	21	X	X	X																		
4	22	X	X	X	X																	
2	23	X	X																			
7	24	X	X	X	X	X	X	X														
6	25	X	X	X	X	X	X															
3	26	X	X	X																		
4	27	X	X	X	X																	
2	28	X	X																			
8	29	X	X	X	X	X	X	X	X													
5	30	X	X	X	X	X																
5	31	X	X	X	X	X																
9	32	X	X	X	X	X	X	X	X	X												
4	33	X	X	X	X																	
3	34	X	X	X																		
4	35	X	X	X	X																	
5	36	X	X	X	X	X																
1	37	X																				
2	38	X	X																			
3	39	X	X	X																		
5	40	X	X	X	X	X																
6	41	X	X	X	X	X	X															
1	42	X																				
4	43	X	X	X	X																	
2	44	X	X																			
5	45	X	X	X	X	X																
4	46	X	X	X	X																	
3	47	X	X	X																		
5	48	X	X	X	X	X																
2	49	X	X																			
5	50	X	X	X	X	X																

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200 LECTURAS

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 0.8000

CALCULO DE "D"
 $D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$
 DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA
 HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)			
$R = 0.0485 \times D$ Cuando $IRI < 2.4$			
$R = 0.593 + 0.0471 \times D$ Cuando $2.4 < IRI < 15.9$			
	LEVANTA- MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIEN- TO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	6	-	5
LECTURAS CONSIDERADAS	3	-	2
FRACIONES RESULTANTES	0.50	43	0.40
SUMA FRACIONES (CI + CE + CD)	43.90		
Rango "D"	175.60		
IRI	8.86		

Observaciones:

SUMA	28			24	
MAXIMO	13	7		12	5
DIFERENCIA	3			3	

COLUMNA EXTREM	6			5	
UTILIZABLE #	3			2	
#	0.5000		43	0.4000	#

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Superficie	Carretera Vilcacoto - Acopalca	Hecho Por	CHRISTIAN BEJARANO
Ubicación	Provincia de Huancayo - Junin	Lado	
Progresiva Km.	6+500 <- 6+700	Fecha	

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

LECTURAS CAMPO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	13	36	37	24	17	29	43	35	34	3
2	42	38	36	43	40	9	9	29	37	17
3	21	5	44	30	23	42	28	49	35	7
4	24	21	43	25	41	5	18	22	33	30
5	22	36	36	12	34	41	18	32	40	23
6	30	28	10	15	8	13	50	18	11	40
7	35	40	42	18	28	13	40	29	16	43
8	13	30	50	40	25	11	3	40	18	25
9	24	9	34	35	26	6	40	42	21	19
10	9	39	32	17	19	4	9	3	3	3
11	36	4	33	36	21	14	20	36	2	47
12	9	46	9	32	30	2	1	25	25	9
13	17	18	15	7	23	30	29	29	49	39
14	27	18	49	44	4	34	41	12	1	47
15	21	48	34	8	33	2	21	23	25	21
16	6	12	1	45	25	17	22	40	29	42
17	18	37	42	25	45	19	36	4	15	16
18	14	32	10	6	33	10	3	48	28	21
19	44	13	46	31	8	44	41	47	50	17
20	40	44	46	1	19	23	45	8	35	3

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200 LECTURAS

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 0.8000

CALCULO DE "D"

$$D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$$

DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA
HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

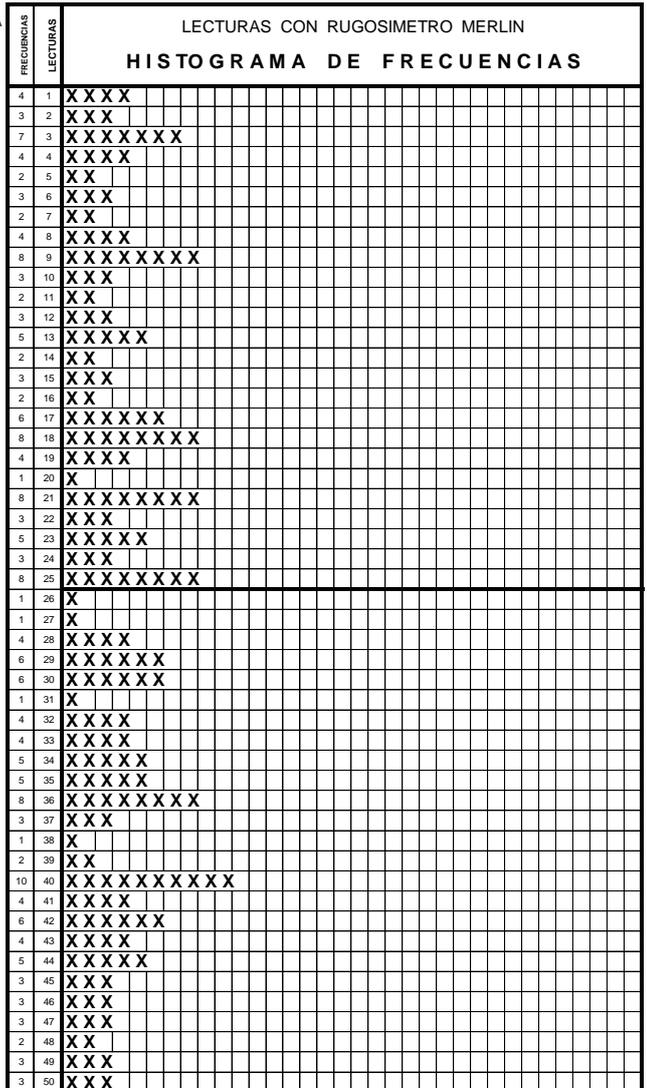
CALCULO DE "R" (IRI)

$$R = 0.0485 \times D \text{ Cuando } IRI < 2.4$$

$$R = 0.593 + 0.0471 \times D \text{ Cuando } 2.4 < IRI < 15.9$$

	LEVANTA_MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIEN_TO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	7	-	3
LECTURAS CONSIDERADAS	4	-	1
FRACIONES RESULTANTES	0.57	43	0.33
SUMA FRACIONES (CI + CE + CD)		43.90	
Rango "D"		175.62	
IRI		8.86	

	COLA IZQUIERDA		CENTRO		COLA DERECHA	
	SUMA	FRENTE	SUMA	FRENTE	SUMA	FRENTE
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0
2	0	0	1	1	0	0
3	0	0	1	1	0	0
4	0	0	1	1	0	0
5	0	0	1	1	0	0
6	0	0	1	1	0	0
7	0	0	1	1	0	0
8	0	0	1	1	0	0
9	0	0	1	1	0	0
10	0	0	1	1	0	0
11	0	0	1	1	0	0
12	0	0	1	1	0	0
13	0	0	1	1	0	0
14	0	0	1	1	0	0
15	0	0	1	1	0	0
16	0	0	1	1	0	0
17	0	0	1	1	0	0
18	0	0	1	1	0	0
19	0	0	1	1	0	0
20	0	0	1	1	0	0
21	0	0	1	1	0	0
22	0	0	1	1	0	0
23	0	0	1	1	0	0
24	0	0	1	1	0	0
25	0	0	1	1	0	0
26	0	0	1	1	0	0
27	0	0	1	1	0	0
28	0	0	1	1	0	0
29	0	0	1	1	0	0
30	0	0	1	1	0	0
31	0	0	1	1	0	0
32	0	0	1	1	0	0
33	0	0	1	1	0	0
34	0	0	1	1	0	0
35	0	0	1	1	0	0
36	0	0	1	1	0	0
37	0	0	1	1	0	0
38	0	0	1	1	0	0
39	0	0	1	1	0	0
40	0	0	1	1	0	0
41	0	0	1	1	0	0
42	0	0	1	1	0	0
43	0	0	1	1	0	0
44	0	0	1	1	0	0
45	0	0	1	1	0	0
46	0	0	1	1	0	0
47	0	0	1	1	0	0
48	0	0	1	1	0	0
49	0	0	1	1	0	0
50	0	0	1	1	0	0



Observaciones:

SUMA	25		28		
MAXIMO	14	7	11	3	BBNBNBN
DIFERENCIA	3		2		

COLUMNA EXTREM	7		3		
UTILIZABLE	0	4	1		
#	0.5714		43	0.3333	#

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Superficie		Carretera Vilcacoto - Acopalca				Hecho Por		CHRISTIAN BEJARANO
Ubicación		Provincia de Huancayo - Junín				Fecha		
Progresiva Km.		7+300 <- 7+500		Lado				

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

LECTURAS CAMPO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	49	11	13	12	8	24	9	33	15	41
2	29	22	21	23	26	30	25	28	25	20
3	37	20	28	42	27	28	24	28	26	23
4	46	29	28	48	22	32	27	28	26	29
5	25	23	32	21	27	19	30	19	12	19
6	37	25	39	11	17	20	36	16	10	17
7	37	29	22	13	38	34	13	19	15	20
8	27	21	18	39	40	39	23	40	26	31
9	25	23	28	12	16	13	20	39	11	29
10	28	29	34	21	20	21	21	39	10	34
11	27	27	26	21	39	35	35	37	25	18
12	1	24	47	38	35	27	16	25	15	20
13	46	23	19	41	27	27	22	19	28	12
14	43	16	32	23	38	25	43	3	32	41
15	42	4	40	30	18	27	10	11	2	2
16	41	12	30	49	28	20	37	15	29	2
17	25	4	4	24	48	34	15	48	25	16
18	31	13	18	7	35	7	22	8	41	39
19	31	1	18	15	49	31	35	30	50	27
20	26	38	49	40	11	26	45	31	30	48

CONTROL CANTIDADE MARCAS: **200 LECTURAS**

FACTOR DE CORRECCION F.C. = **0.8000**

CALCULO DE "D"

D = (IZQ + CE + DER) x 5 x F.C.

DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA
HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)

R = 0.0485 x D Cuando IRI < 2.4

R = 0.593 + 0.0471 x D Cuando 2.4 < IRI < 15.9

	LEVANTA_	CENTRO	HUNDIMIEN_
	MIENTO	(CE)	TO
	(IZQ.)	(CE)	(DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	3	-	4
LECTURAS CONSIDERADAS	2	-	4
FRACCIONES RESULTANTES	0.67	38	1.00
SUMA FRACCIONES (CI + CE + CD)		39.67	
Rango "D"		158.67	
IRI		8.07	

COLA IZQUIERDA	CENTRO	COLA DERECHA
SUMA	SUMA	
FRENTE	FRENTE	

LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN										
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS										
FRECUENCIAS	LECTURAS									
2	1	X	X							
3	2	X	X	X						
1	3	X								
3	4	X	X	X						
0	5									
0	6									
2	7	X	X							
2	8	X	X							
1	9	X								
3	10	X	X	X						
5	11	X	X	X	X					
5	12	X	X	X	X					
5	13	X	X	X	X					
0	14									
6	15	X	X	X	X	X				
5	16	X	X	X	X	X				
2	17	X	X							
5	18	X	X	X	X	X				
6	19	X	X	X	X	X				
8	20	X	X	X	X	X	X			
7	21	X	X	X	X	X	X			
5	22	X	X	X	X	X				
7	23	X	X	X	X	X	X			
4	24	X	X	X						
10	25	X	X	X	X	X	X	X		
7	26	X	X	X	X	X	X	X		
11	27	X	X	X	X	X	X	X	X	
10	28	X	X	X	X	X	X	X	X	
7	29	X	X	X	X	X				
6	30	X	X	X	X	X				
5	31	X	X	X	X					
4	32	X	X	X						
1	33	X								
4	34	X	X	X						
5	35	X	X	X	X					
1	36	X								
5	37	X	X	X	X					
4	38	X	X	X	X					
7	39	X	X	X	X	X				
4	40	X	X	X						
5	41	X	X	X	X					
2	42	X	X							
2	43	X	X							
0	44									
1	45	X								
2	46	X	X							
1	47	X								
4	48	X	X	X						
4	49	X	X	X	X					
1	50	X								

Observaciones:

SUMA	51		37
MAXIMO	11	9	12
DIFERENCIA	1		0

4 BBNBNBN

COLUMNA EXTREM.	3	3	4
UTILIZABLE	#	2	4
	# 0.6667	38	1.0000

#

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Superficie	Carretera Vilcacoto - Acopalca		Hecho Por	CHRISTIAN BEJARANO
Ubicación	Provincia de Huancayo - Junin			
Progresiva Km.	7+700 < 7+900	Lado	Fecha	

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

LECTURAS CAMPO										COLA IZQUIERDA	CENTRO COLA DERECHA			FRECUENCIAS	LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SUMA				SUMA	LECTURAS	HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS																										
										FRENTE				FRENTE																												
1	43	13	12	32	37	15	26	22	30	22	3	0	0	0	0	0	3	1	XXX																							
2	11	23	28	29	28	29	26	28	27	24	4	0	0	0	0	0	1	2	XX																							
3	29	29	25	46	20	31	27	26	26	43	5	0	0	0	0	0	1	3	X																							
4	16	28	19	46	17	13	26	26	25	10	6	0	0	0	0	0	1	4	X																							
5	35	29	19	7	31	31	13	21	23	43	8	0	0	0	0	0	2	5	XX																							
6	31	27	35	35	31	17	19	24	31	10	9	0	0	0	0	0	1	6	X																							
7	24	24	10	16	34	33	28	34	20	38	10	0	0	0	0	0	1	7	X																							
8	26	27	20	13	16	16	23	13	22	28	11	10	0	0	0	0	1	8	X																							
9	25	30	37	28	10	15	38	12	21	15	0	0	1	1	0	0	0	9	0																							
10	27	21	35	14	20	13	10	17	22	34	0	0	1	1	0	0	7	10	XXXXXXXXXX																							
11	24	24	30	37	15	19	20	24	19	35	0	0	1	1	0	0	4	11	XXXXX																							
12	46	28	5	24	45	24	5	43	41	35	0	0	1	1	0	0	4	12	XXXXX																							
13	42	20	44	43	1	24	18	37	43	6	0	0	1	1	0	0	4	12	XXXXX																							
14	12	13	29	17	36	27	11	42	35	26	0	0	1	1	0	0	10	13	XXXXXXXXXXXXXX																							
15	20	11	21	40	49	27	4	26	31	13	0	0	1	1	0	0	1	14	X																							
16	2	33	41	8	50	19	46	41	42	49	0	0	1	1	0	0	4	15	XXXXX																							
17	41	24	32	24	3	10	50	48	25	37	0	0	1	1	0	0	4	16	XXXXX																							
18	41	41	1	13	17	21	23	19	34	21	0	0	1	1	0	0	5	17	XXXXXX																							
19	23	32	27	10	13	35	11	22	32	49	0	0	1	1	0	0	1	18	X																							
20	12	36	27	34	26	43	41	28	1	33	0	0	1	1	0	0	7	19	XXXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	7	20	XXXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	6	21	XXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	5	22	XXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	5	23	XXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	12	24	XXXXXXXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	4	25	XXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	10	26	XXXXXXXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	9	27	XXXXXXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	9	28	XXXXXXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	6	29	XXXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	3	30	XXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	7	31	XXXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	4	32	XXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	3	33	XXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	5	34	XXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	8	35	XXXXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	2	36	XX																							
											0	0	1	1	0	0	5	37	XXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	2	38	XX																							
											0	0	1	1	0	0	0	39																								
											0	0	1	1	0	0	1	40	X																							
											0	0	1	1	0	0	7	41	XXXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	3	42	XXXX																							
											0	0	1	1	0	0	7	43	XXXXXXXXXX																							
											0	0	1	1	0	0	1	44	X																							
											0	0	1	1	0	0	1	45	X																							
											0	0	1	1	0	1	4	46	XXXXX																							
											0	0	1	0	6	4	0	47																								
											0	0	1	0	6	0	1	48	X																							
											0	0	1	0	5	1	3	49	XXX																							
											0	0	1	0	2	3	2	50	XX																							

Observaciones:

SUMA	56			40		
MAXIMO	11	10		11	4	BBNBNBN
DIFERENCIA	0			0		
COLUMNA EXTREM	2			4		
UTILIZABLE	#	2		4		
	#	1.0000	36	1.0000		#

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Superficie	Carretera Vilcacoto - Acopalca			Hecho Por	CHRISTIAN BEJARANO
Ubicación	Provincia de Huancayo - Junin			Fecha	
Progresiva Km.	7+900 <- 8+100	Lado		Fecha	

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

LECTURAS CAMPO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6	31	18	3	41	33	33	32	42	30
2	14	22	21	28	24	21	27	24	24	20
3	2	22	24	9	47	1	28	27	26	22
4	16	26	4	6	24	32	28	27	26	28
5	50	26	33	30	24	36	6	31	16	35
6	33	28	33	32	29	16	40	12	22	23
7	42	27	15	17	26	25	23	28	11	31
8	25	27	40	10	22	10	34	33	10	20
9	25	24	21	13	33	37	11	31	24	36
10	25	28	25	40	23	22	24	23	37	25
11	25	29	26	18	36	40	21	20	38	34
12	17	28	9	31	40	24	41	22	17	14
13	7	29	49	34	13	25	34	37	27	6
14	12	47	32	38	1	28	28	43	22	50
15	6	42	44	20	44	28	9	14	30	26
16	29	38	8	6	1	32	34	3	26	10
17	32	17	41	27	22	24	6	24	6	26
18	10	20	35	24	30	6	7	9	50	8
19	7	34	49	19	29	18	16	9	42	13
20	30	44	37	8	13	10	18	23	5	9

	COLA IZQUIERDA		CENTRO		COLA DERECHA	
	SUMA	FRENTE	SUMA	FRENTE	SUMA	FRENTE
1	3	0	0	0	0	0
2	4	0	0	0	0	0
3	6	0	0	0	0	0
4	7	0	0	0	0	0
5	8	0	0	0	0	0
6	17	8	0	0	0	0
7	0	0	1	1	0	0
8	0	0	1	1	0	0
9	0	0	1	1	0	0
10	0	0	1	1	0	0
11	0	0	1	1	0	0
12	0	0	1	1	0	0
13	0	0	1	1	0	0
14	0	0	1	1	0	0
15	0	0	1	1	0	0
16	0	0	1	1	0	0
17	0	0	1	1	0	0
18	0	0	1	1	0	0
19	0	0	1	1	0	0
20	0	0	1	1	0	0
21	0	0	1	1	0	0
22	0	0	1	1	0	0
23	0	0	1	1	0	0
24	0	0	1	1	0	0
25	0	0	1	1	0	0
26	0	0	1	1	0	0
27	0	0	1	1	0	0
28	0	0	1	1	0	0
29	0	0	1	1	0	0
30	0	0	1	1	0	0
31	0	0	1	1	0	0
32	0	0	1	1	0	0
33	0	0	1	1	0	0
34	0	0	1	1	0	0
35	0	0	1	1	0	0
36	0	0	1	1	0	0
37	0	0	1	1	0	0
38	0	0	1	1	0	0
39	0	0	1	1	0	0
40	0	0	1	1	0	0
41	0	0	1	1	0	0
42	0	0	1	1	0	0
43	0	0	1	1	0	0
44	0	0	1	1	0	1
45	0	0	1	0	7	3
46	0	0	1	0	7	0
47	0	0	1	0	7	0
48	0	0	1	0	5	2
49	0	0	1	0	5	0
50	0	0	1	0	3	2

		LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN									
		HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS									
FRECUENCIAS	LECTURAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	1	X	X	X							
1	2	X									
2	3	X	X								
1	4	X									
1	5	X									
9	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	7	X	X	X							
3	8	X	X	X							
6	9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	11	X	X								
2	12	X	X								
4	13	X	X	X	X						
3	14	X	X	X							
1	15	X									
4	16	X	X	X	X						
4	17	X	X	X	X						
4	18	X	X	X	X						
1	19	X									
5	20	X	X	X	X	X					
4	21	X	X	X	X						
9	22	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	23	X	X	X	X	X					
13	24	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	25	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	26	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	27	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	28	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	29	X	X	X	X	X					
5	30	X	X	X	X	X					
5	31	X	X	X	X	X					
6	32	X	X	X	X	X	X				
7	33	X	X	X	X	X	X	X			
6	34	X	X	X	X	X	X	X			
2	35	X	X								
3	36	X	X	X							
4	37	X	X	X	X						
3	38	X	X	X							
0	39										
5	40	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	41	X	X	X							
4	42	X	X	X	X						
1	43	X									
3	44	X	X	X							
0	45										
0	46										
2	47	X	X								
0	48										
2	49	X	X								
3	50	X	X	X							

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200 LECTURAS

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 0.8000

CALCULO DE "D"
 $D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$
 DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA
 HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)			
$R = 0.0485 \times D$ Cuando $IRI < 2.4$			
$R = 0.593 + 0.0471 \times D$ Cuando $2.4 < IRI < 15.9$			
	LEVANTA- MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIEN- TO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	9	-	3
LECTURAS CONSIDERADAS	7	-	3
FRACCIONES RESULTANTES	0.78	36	1.00
SUMA FRACCIONES (CI + CE + CD)	37.78		
Rango "D"	151.11		
IRI	7.71		

Observaciones:

SUMA	45		55
MAXIMO	17	8	11
DIFERENCIA	2		0

COLUMNA EXTREM. 9	9	3
UTILIZABLE	1 7	3
# 0.7778	36	1.0000

#

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Superficie	Carretera Vilcacoto - Acopcalca			Hecho Por	CHRISTIAN BEJARANO
Ubicación	Provincia de Huancayo - Junin				
Progresiva Km.	8+700 <> 8+900	Lado		Fecha	

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	13	2	20	26	20	39	5	30	27	19
2	17	28	4	11	7	28	13	19	26	34
3	30	15	16	21	11	18	35	25	16	33
4	48	23	23	16	24	23	26	25	25	39
5	44	21	19	2	2	8	28	16	16	14
6	9	23	19	19	28	33	13	32	31	12
7	40	21	36	39	16	15	23	38	23	33
8	26	20	37	35	14	10	25	22	23	13
9	25	27	34	12	17	32	33	14	17	24
10	27	20	15	29	25	33	15	34	25	22
11	25	20	14	10	27	14	18	14	33	15
12	2	30	4	13	26	26	42	38	5	9
13	42	20	43	10	44	25	37	10	38	23
14	43	41	6	25	23	27	43	25	26	41
15	19	10	34	16	49	24	27	19	9	16
16	13	21	8	42	3	30	11	42	40	4
17	16	45	8	26	20	18	28	2	3	44
18	20	8	7	10	33	13	34	6	17	13
19	3	38	2	35	31	3	4	4	9	1
20	10	6	35	31	35	28	2	28	12	6

	COLA IZQUIERDA	CENTRO	COLA DERECHA
SUMA	0	0	0
FRENTE	0	0	0

		HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS																			
FRECUENCIAS	LECTURAS																				
1	1	X																			
7	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
4	3	X	X	X	X																
5	4	X	X	X	X	X															
2	5	X	X																		
4	6	X	X	X	X																
2	7	X	X																		
4	8	X	X	X	X																
4	9	X	X	X	X																
7	10	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
3	11	X	X	X																	
3	12	X	X	X																	
8	13	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
6	14	X	X	X	X	X	X														
5	15	X	X	X	X	X															
9	16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
4	17	X	X	X	X																
3	18	X	X	X																	
7	19	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
8	20	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
4	21	X	X	X	X																
2	22	X	X																		
9	23	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
3	24	X	X	X																	
11	25	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
8	26	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
6	27	X	X	X	X	X	X														
7	28	X	X	X	X	X	X	X	X												
1	29	X																			
4	30	X	X	X	X																
3	31	X	X	X																	
2	32	X	X																		
7	33	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
5	34	X	X	X	X	X															
5	35	X	X	X	X	X															
1	36	X																			
2	37	X	X																		
4	38	X	X	X	X																
3	39	X	X	X																	
2	40	X	X																		
2	41	X	X																		
4	42	X	X	X	X																
3	43	X	X	X																	
3	44	X	X	X																	
1	45	X																			
0	46																				
0	47																				
1	48	X																			
1	49	X																			
0	50																				

CONTROL CANTIDADE MARCAS:	200 LECTURAS
---------------------------	--------------

FACTOR DE CORRECCION	F.C. = 0.8000
----------------------	---------------

Calculo de "D"

$$D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$$

DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA

HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

Calculo de "R" (IRI)

R = 0.0485 x D Cuando IRI < 2.4

R = 0.593 + 0.0471 x D Cuando 2.4 < IRI < 15.9

	LEVANTA- MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMEN TO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	7	-	4
LECTURAS CONSIDERADAS	5	-	3
FRACIONES RESULTANTES	0.71	38	0.75
SUMA FRACIONES (CI + CE + CD)	39.46		
Rango "D"	157.86		
IRI	8.03		

Observaciones:

SUMA	21				38
MAXIMO	12	8			13
DIFERENCIA	2				1
COLUMNA EXTREM	7				4
UTILIZABLE #	5				3
#	0.7143			38	0.7500
					#

BBNBNBN

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Superficie	Carretera Vilcacoto - Acopalca	Hecho Por	CHRISTIAN BEJARANO
Ubicación	Provincia de Huancayo - Junin		
Progresiva Km.	8+900 <- 9+100	Lado	Fecha

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

LECTURAS CAMPO										COLA IZQUIERDA		CENTRO	COLA DERECHA		FRECUECIAS	LECTURAS	HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SUMA	SUMA		SUMA	SUMA				
										FRENTE			FRENTE					
1	29	23	34	37	3	39	1	40	31	5	2	0	0	0	0	2	1	XX
2	28	20	24	28	24	22	28	28	28	29	4	0	0	0	0	2	2	XX
3	7	25	34	47	32	26	25	27	28	46	7	0	0	0	0	3	3	XXX
4	38	20	25	3	15	49	27	24	24	9	7	0	0	0	0	0	4	
5	45	22	22	25	38	45	35	29	31	32	10	0	0	0	0	3	5	XXX
6	2	20	15	26	10	18	12	23	34	14	13	10	0	0	0	3	6	XXX
7	11	28	20	35	16	27	39	12	32	24	0	0	1	0	0	5	7	XXXXX
8	27	21	15	21	24	12	36	23	35	22	0	0	1	1	0	1	8	X
9	24	20	24	17	36	31	15	32	26	12	0	0	1	1	0	1	9	X
10	27	29	23	12	37	30	14	38	23	28	0	0	1	1	0	4	10	XXXXX
11	28	27	13	33	24	30	19	23	37	40	0	0	1	1	0	3	11	XXX
12	14	29	6	45	38	28	32	31	37	47	0	0	1	1	0	8	12	XXXXXXXXXX
13	45	25	10	23	12	28	27	36	35	41	0	0	1	1	0	5	13	XXXXXX
14	31	41	5	11	19	28	33	36	37	26	0	0	1	1	0	4	14	XXXXX
15	36	11	30	13	6	26	1	34	5	7	0	0	1	1	0	4	15	XXXXX
16	44	33	30	16	43	26	40	7	19	12	0	0	1	1	0	2	16	XX
17	22	34	35	28	39	23	47	25	6	8	0	0	1	1	0	4	17	XXXXX
18	14	37	39	3	12	49	10	13	45	13	0	0	1	1	0	1	18	X
19	48	10	17	37	24	24	7	17	13	28	0	0	1	1	0	3	19	XXX
20	36	21	41	7	37	36	17	31	2	43	0	0	1	1	0	5	20	XXXXX
CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200 LECTURAS											0	0	1	1	0	3	21	XXX
FACTOR DE CORRECCION F.C. = 0.8000											0	0	1	1	0	5	22	XXXXX
CALCULO DE "D"											0	0	1	1	0	8	23	XXXXXXXXXX
D = (IZQ + CE + DER) x 5 x F.C.											0	0	1	1	0	11	24	XXXXXXXXXXXXX
DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA											0	0	1	1	0	6	25	XXXXXXXXXX
HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO											0	0	1	1	0	6	26	XXXXXX
CALCULO DE "R" (IRI)											0	0	1	1	0	7	27	XXXXXXXXXX
R = 0.0485 x D Cuando IRI<2.4											0	0	1	1	0	14	28	XXXXXXXXXXXXXXX
R = 0.593+0.0471 x D Cuando 2.4<IRI<15.9											0	0	1	1	0	5	29	XXXXXX
		LEVANTA- MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIEN- TO (DER.)		0	0	1	1	0	4	30	XXXXX					
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS		3	-	5		0	0	1	1	0	6	31	XXXXXX					
LECTURAS CONSIDERADAS		3	-	2		0	0	1	1	0	5	32	XXXXX					
FRACIONES RESULTANTES		1.00	38	0.40		0	0	1	1	0	3	33	XXX					
SUMA FRACIONES (CI + CE + CD)		39.40				0	0	1	1	0	5	34	XXXXX					
Rango "D"		157.60				0	0	1	1	0	5	35	XXXXX					
IRI		8.02				0	0	1	1	0	7	36	XXXXXXXXXX					
						0	0	1	1	0	8	37	XXXXXXXXXXXX					
						0	0	1	1	0	4	38	XXXXX					
						0	0	1	1	0	4	39	XXXXX					
						0	0	1	1	0	3	40	XXX					
						0	0	1	1	0	3	41	XXX					
						0	0	1	1	0	0	42						
						0	0	1	1	0	2	43	XX					
						0	0	1	1	0	1	44	X					
						0	0	1	0	12	5	45	XXXXXX					
						0	0	1	0	7	5	46	X					
						0	0	1	0	6	1	47	XXX					
						0	0	1	0	3	3	48	X					
						0	0	1	0	2	1	49	XX					
						0	0	1	0	0	0	50						

Observaciones:

SUMA	43					30
MAXIMO	13	10				5
DIFERENCIA	0					3

COLUMNA EXTREM. 3	3					5
UTILIZABLE #	3					2
# 1.0000			38	0.4000		#

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS				
Superficie	Carretera Vilcacoto - Acopalca	Hecho Por	CHRISTIAN BEJARANO	
Ubicación	Provincia de Huancayo - Junin			
Progresiva Km.	9+300 <- 9+500	Lado		Fecha

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

LECTURAS CAMPO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	18	35	30	33	6	23	13	11	18	28
2	20	29	28	34	2	32	20	19	7	1
3	19	38	37	10	24	20	5	9	30	13
4	41	29	20	11	10	10	25	27	28	27
5	10	23	24	32	43	5	21	5	31	12
6	40	26	27	36	35	39	18	39	33	10
7	15	22	30	14	28	33	24	26	40	25
8	25	26	10	23	24	29	30	40	10	34
9	25	25	30	13	29	34	36	13	35	24
10	28	25	14	40	14	36	35	40	13	37
11	26	23	27	13	15	34	19	20	15	18
12	28	30	22	17	24	25	49	40	50	1
13	47	24	23	16	44	26	30	23	43	4
14	15	35	13	17	28	35	33	33	2	38
15	9	23	46	19	23	28	29	20	26	21
16	49	14	48	27	24	19	15	35	15	31
17	45	35	41	24	17	35	34	31	21	4
18	10	25	24	18	16	19	15	18	38	2
19	26	4	20	25	15	7	5	5	12	17
20	20	15	15	11	5	30	8	19	14	6

		COLA IZQUIERDA		CENTRO	COLA DERECHA	
SUMA					SUMA	
FRENTE					FRENTE	
1	2	0	0	0	0	0
2	5	0	0	0	0	0
3	5	0	0	0	0	0
4	8	0	0	0	0	0
5	14	8	0	0	0	0
6	0	0	1	1	0	0
7	0	0	1	1	0	0
8	0	0	1	1	0	0
9	0	0	1	1	0	0
10	0	0	1	1	0	0
11	0	0	1	1	0	0
12	0	0	1	1	0	0
13	0	0	1	1	0	0
14	0	0	1	1	0	0
15	0	0	1	1	0	0
16	0	0	1	1	0	0
17	0	0	1	1	0	0
18	0	0	1	1	0	0
19	0	0	1	1	0	0
20	0	0	1	1	0	0
21	0	0	1	1	0	0
22	0	0	1	1	0	0
23	0	0	1	1	0	0
24	0	0	1	1	0	0
25	0	0	1	1	0	0
26	0	0	1	1	0	0
27	0	0	1	1	0	0
28	0	0	1	1	0	0
29	0	0	1	1	0	0
30	0	0	1	1	0	0
31	0	0	1	1	0	0
32	0	0	1	1	0	0
33	0	0	1	1	0	0
34	0	0	1	1	0	0
35	0	0	1	1	0	0
36	0	0	1	1	0	0
37	0	0	1	1	0	0
38	0	0	1	1	0	0
39	0	0	1	1	0	0
40	0	0	1	1	0	0
41	0	0	1	0	12	0
42	0	0	1	0	10	2
43	0	0	1	0	10	0
44	0	0	1	0	8	2
45	0	0	1	0	7	1
46	0	0	1	0	6	1
47	0	0	1	0	5	1
48	0	0	1	0	4	1
49	0	0	1	0	3	1
50	0	0	1	0	1	2

LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN											
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1	X	X								
3	2	X	X	X							
0	3										
3	4	X	X	X							
6	5	X	X	X	X	X	X				
2	6	X	X								
2	7	X	X								
1	8	X									
2	9	X	X								
8	10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
3	11	X	X	X							
2	12	X	X								
7	13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
5	14	X	X	X	X	X					
10	15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	16	X	X								
4	17	X	X	X	X						
6	18	X	X	X	X	X	X				
7	19	X	X	X	X	X	X				
8	20	X	X	X	X	X	X	X			
3	21	X	X	X							
2	22	X	X								
8	23	X	X	X	X	X	X	X			
10	24	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	25	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	26	X	X	X	X	X	X	X			
5	27	X	X	X	X						
8	28	X	X	X	X	X	X	X			
5	29	X	X	X	X						
8	30	X	X	X	X	X	X				
3	31	X	X	X							
2	32	X	X								
5	33	X	X	X	X	X					
5	34	X	X	X	X						
9	35	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	36	X	X	X							
2	37	X	X								
3	38	X	X	X							
2	39	X	X								
6	40	X	X	X	X	X	X	X			
2	41	X	X								
0	42										
2	43	X	X								
1	44	X									
1	45	X									
1	46	X									
1	47	X									
1	48	X									
2	49	X	X								
1	50	X									

CONTROL CANTIDADE MARCAS: **200** LECTURAS

FACTOR DE CORRECCION F.C. = **0.8000**

Calculo de "D"
 $D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$
 DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA
 HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

Calculo de "R" (IRI)			
$R = 0.0485 \times D$ Cuando $IRI < 2.4$			
$R = 0.593 + 0.0471 \times D$ Cuando $2.4 < IRI < 15.9$			
	LEVANTA_MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIEN_TO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	6	-	2
LECTURAS CONSIDERADAS	4	-	2
FRACCIONES RESULTANTES	0.67	35	1.00
SUMA FRACCIONES (CI + CE + CD)	36.67		
Rango "D"	146.67		
IRI	7.50		

Observaciones:

SUMA 34 66
 MAXIMO 14 8 12 2 BBNBNBN
 DIFERENCIA 2 0

COLUMNA EXTREM. 6 6 2
 UTILIZABLE # 4 2
 # 0.6667 35 1.0000 #

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS							
Superficie	Carretera Vilcacoto - Acopalca					Hecho Por	CHRISTIAN BEJARANO
Ubicación	Provincia de Huancayo - Junin						
Progresiva Km.	9+500	<		9+700	Lado		Fecha

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

LECTURAS CAMPO											COLA IZQUIERDA		CENTRO		COLA DERECHA		FRECUENCIAS LECTURAS	LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SUMA FRENTE				SUMA FRENTE			
1	13	7	23	10	22	41	38	33	23	42	0	0	0	0	0	0	0 1	
2	20	21	25	24	23	25	27	28	25	26	0	0	0	0	0	0	4 2 XXXX	
3	20	30	30	37	7	38	28	24	25	22	4	0	0	0	0	0	2 3 XX	
4	28	29	9	45	42	26	28	25	28	22	6	0	0	0	0	0	3 4 XXX	
5	41	24	12	32	2	2	20	20	13	33	9	0	0	0	0	0	1 5 X	
6	37	24	17	26	37	19	35	28	24	23	10	0	0	0	0	0	3 6 XXX	
7	31	26	24	30	15	22	13	30	30	10	13	10	0	0	0	0	3 7 XXX	
8	26	20	22	27	30	21	26	31	22	40	0	0	1	1	0	0	4 8 XXXX	
9	27	23	23	10	14	27	30	13	40	40	0	0	1	1	0	0	6 9 XXXXXX	
10	25	22	35	32	10	30	35	15	30	27	0	0	1	1	0	0	4 10 XXXX	
11	27	26	40	12	29	13	35	37	40	31	0	0	1	1	0	0	4 11 XXXX	
12	45	27	8	31	9	26	38	4	39	36	0	0	1	1	0	0	4 12 XXXX	
13	32	24	12	19	7	26	42	40	45	9	0	0	1	1	0	0	8 13 XXXXXXXX	
14	25	3	43	36	13	28	36	45	8	35	0	0	1	1	0	0	2 14 XX	
15	40	8	3	8	24	27	47	44	13	6	0	0	1	1	0	0	3 15 XXX	
16	19	28	9	16	41	11	23	11	17	29	0	0	1	1	0	0	4 16 XXXX	
17	6	13	5	26	42	27	39	21	17	16	0	0	1	1	0	0	3 17 XXX	
18	11	38	16	45	18	21	14	2	6	20	0	0	1	1	0	0	1 18 X	
19	11	20	30	21	2	16	12	41	31	34	0	0	1	1	0	0	3 19 XXX	
20	47	49	4	15	49	22	9	9	4	32	0	0	1	1	0	0	7 20 XXXXXXXX	
CONTROL CANTIDADE MARCAS:						200 LECTURAS					0	0	1	1	0	0	0	5 21 XXXXX
FACTOR DE CORRECCION F.C. =						0.8000					0	0	1	1	0	0	0	8 22 XXXXXXXX
CALCULO DE "D"											0	0	1	1	0	0	0	7 23 XXXXXXXX
D = (IZQ + CE + DER) x 5 x F.C.											0	0	1	1	0	0	0	8 24 XXXXXXXX
DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA											0	0	1	1	0	0	0	7 25 XXXXXXXX
HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO											0	0	1	1	0	0	0	10 26 XXXXXXXXXXXX
CALCULO DE "R" (IRI)											0	0	1	1	0	0	0	9 27 XXXXXXXXXXXX
R = 0.0485 x D Cuando IRI < 2.4											0	0	1	1	0	0	0	8 28 XXXXXXXXXXXX
R = 0.593+0.0471 x D Cuando 2.4 < IRI < 15.9											0	0	1	1	0	0	0	3 29 XXX
	LEVANTA_MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIEN_TO (DER.)								0	0	1	1	0	0	0	10 30 XXXXXXXXXXXX
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	3		-	5						0	0	1	1	0	0	0	5 31 XXXXX	
LECTURAS CONSIDERADAS	3		-	5						0	0	1	1	0	0	0	4 32 XXXX	
FRACIONES RESULTANTES	1.00	36		1.00						0	0	1	0	0	11	0	1	2 33 XX
SUMA FRACIONES (CI + CE + CD)				38.00						0	0	1	0	9	1	5	0	1 34 X
Rango "D"				152.00						0	0	1	0	4	0	4	5	5 35 XXXXX
IRI				7.75						0	0	1	0	2	2	2	0	3 36 XXX
											0	0	1	0	4	5	0	4 37 XXXX
											0	0	1	0	4	5	0	4 38 XXXX
											0	0	1	0	4	5	0	2 39 XX
											0	0	1	0	4	5	0	7 40 XXXXXXXX
											0	0	1	0	9	1	1	4 41 XXXX
											0	0	1	0	9	1	1	4 42 XXXX
											0	0	1	0	9	1	1	1 43 X
											0	0	1	0	9	1	1	1 44 X
											0	0	1	0	9	1	1	5 45 XXXXX
											0	0	1	0	9	1	1	0 46
											0	0	1	0	4	0	2	2 47 XX
											0	0	1	0	2	2	0	0 48
											0	0	1	0	2	2	0	2 49 XX
											0	0	1	0	0	0	0	0 50

Observaciones:

SUMA	42		42	
MAXIMO	13	10	11	5 BBNBNBN
DIFERENCIA	0		0	
COLUMNA EXTREM.	3		5	
UTILIZABLE #	3		5	
#	1.0000		36	1.0000

#

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Superficie: Carretera Vilcacoto - Acopalca
Ubicación: Provincia de Huancayo - Junín
Progresiva Km.: 10+500 <-> 10+700
Hecho Por: CHRISTIAN BEJARANO
Lado:
Fecha:

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

LECTURAS CAMPO. Grid with 10 columns (1-10) and 20 rows of data values.

COLA IZQUIERDA, CENTRO, COLA DERECHA. SUMA, FREENTE. A series of rows containing zero values for various measurements.

LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS. A grid with columns for frequencies and rows for readings, showing 'X' marks representing data points.

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200 LECTURAS

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 0.8000

CALCULO DE "D"

D = (IZQ + CE + DER) x 5 x F.C.

DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA
HISTOGRAMA: IZQ. = LEVANTAMIENTO CE = CENTRO DER. = HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)

R = 0.0485 x D Cuando IRI<2.4

R = 0.593+0.0471 x D Cuando 2.4<IRI<15.9

Table with 4 columns: LEVANTA MIENTO (IZQ.), CENTRO (CE), HUNDIMIEN TO (DER.). Totales columnas extremas, lecturas consideradas, fracciones resultantes, suma fracciones, rango "D", and IRI = 6.90.

Observaciones:

SUMA 43 57
MAXIMO 12 8 13 3 BBNBNBN
DIFERENCIA 2 0

COLUMNA EXTREM. 4 4 3
UTILIZABLE # 2 3
0.5000 32 1.0000

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Superficie	Carretera Vilcacoto - Acopalca	Hecho Por	CHRISTIAN BEJARANO
Ubicación	Provincia de Huancayo - Junín		
Progresiva Km.	12+500 <-> 12+700		

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

LECTURAS CAMPO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	26	39	24	20	40	5	10	35	21	17
2	19	1	38	6	39	13	31	3	12	11
3	6	19	7	36	18	9	24	28	10	25
4	15	23	36	32	8	5	24	24	28	48
5	35	28	25	20	13	40	8	8	36	11
6	40	21	31	24	15	13	34	16	29	22
7	44	21	10	14	27	21	36	12	34	24
8	28	21	37	11	13	29	35	25	24	20
9	28	27	12	33	17	30	24	35	19	34
10	26	20	25	40	37	27	24	36	28	15
11	28	20	11	12	31	38	31	38	27	31
12	36	22	41	14	12	26	34	7	32	42
13	31	21	12	12	45	25	46	44	38	33
14	16	48	45	35	16	35	24	28	35	49
15	35	27	47	33	16	29	29	20	7	20
16	30	23	1	28	34	27	31	25	21	43
17	10	46	40	20	24	20	32	34	14	34
18	36	5	27	23	31	24	17	15	12	31
19	3	28	28	4	21	26	37	18	1	16
20	28	30	4	5	34	10	1	26	30	1

	COLA IZQUIERDA	CENTRO	COLA DERECHA	
	SUMA		SUMA	
	FRENTE		FRENTE	
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0

CONTROL CANTIDADE MARCAS: 200 LECTURAS

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 0.8000

CALCULO DE "D"

$D = (IZQ + CE + DER) \times 5 \times F.C.$

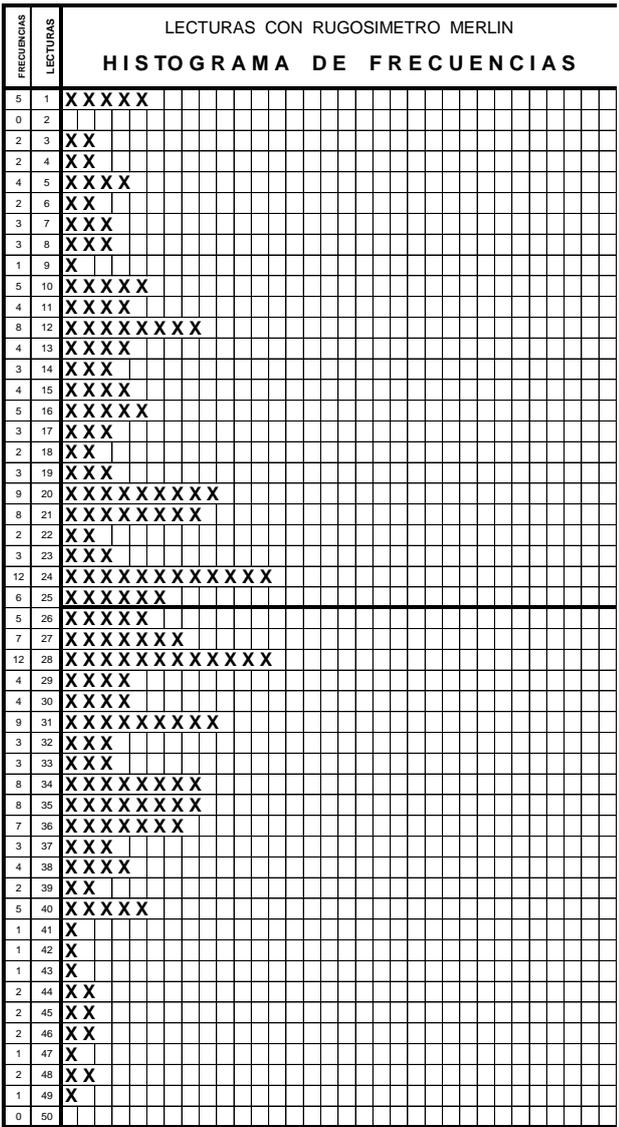
DESCARTANDO 10 VALORES CADA DISPERSION DEL HISTOGRAMA
HISTOGRAMA: IZQ. - LEVANTAMIENTO CE - CENTRO DER. - HUNDIMIENTO

CALCULO DE "R" (IRI)

$R = 0.0485 \times D$ Cuando $IRI < 2.4$

$R = 0.593 + 0.0471 \times D$ Cuando $2.4 < IRI < 15.9$

	LEVANTA_ MIENTO (IZQ.)	CENTRO (CE)	HUNDIMIEN_ TO (DER.)
TOTALES COLUMNAS EXTREMAS	4	-	2
LECTURAS CONSIDERADAS	3	-	2
FRACIONES RESULTANTES	0.75	37	1.00
SUMA FRACIONES (CI + CE + CD)		38.75	
Rango "D"		155.00	
IRI		7.89	



Observaciones:

SUMA	39					43
MAXIMO	13	9			2	BBNBNBN
DIFERENCIA	1					0

COLUMNA EXTREM	4	4		2
UTILIZABLE #	3			2
# 0.7500		37	1.0000	#

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Superficie	Carretera Vilcacoto - Acopalca	Hecho Por	CHRISTIAN BEJARANO
Ubicación	Provincia de Huancayo - Junin		
Progresiva Km.	12+900 <-> 13+100		

DETERMINACION DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

LECTURAS CAMPO											COLA IZQUIERDA		CENTRO COLA DERECHA		LECTURAS	LECTURAS CON RUGOSIMETRO MERLIN																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SUMA		SUMA		FRECUENCIAS	HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS																							
											FRENTE		FRENTE																										
1	11	21	26	31	33	19	36	26	13	40	1	0	0	0	1	1	X																						
2	13	30	2	10	20	8	37	6	19	39	3	0	0	0	0	0	2	2	XX																				
3	15	4	31	12	20	21	19	38	37	32	3	0	0	0	0	0	0	3																					
4	28	25	18	36	50	27	28	24	26	12	6	0	0	0	0	0	3	4	XXX																				
5	2	24	50	42	44	45	10	43	33	7	6	0	0	0	0	0	1	5	X																				
6	8	21	15	35	32	31	31	36	21	12	7	0	0	0	0	0	1	6	X																				
7	21	25	10	28	12	20	35	20	20	27	8	0	0	0	0	0	2	7	XX																				
8	27	24	34	34	26	34	24	24	29	34	10	0	0	0	0	0	3	8	XXX																				
9	26	23	35	25	32	37	31	27	40	35	13	10	0	0	0	0	2	9	XX																				
10	25	27	16	35	10	32	25	23	18	31	0	0	1	1	0	0	5	10	XXXXXXXX																				
11	26	20	17	31	40	29	26	11	13	19	0	0	1	1	0	0	5	11	XXXXXXXX																				
12	31	27	13	29	31	28	10	33	14	31	0	0	1	1	0	0	5	12	XXXXXXXX																				
13	35	25	35	21	8	27	41	47	24	48	0	0	1	1	0	0	5	13	XXXXXXXX																				
14	24	1	49	27	24	33	19	30	20	18	0	0	1	1	0	0	3	14	XXX																				
15	17	12	23	17	30	17	33	28	49	45	0	0	1	1	0	0	4	15	XXXXX																				
16	9	11	4	22	28	33	15	26	14	31	0	0	1	1	0	0	3	16	XXX																				
17	34	26	18	23	34	24	16	18	13	35	0	0	1	1	0	0	5	17	XXXXXX																				
18	16	21	19	35	35	23	18	25	39	4	0	0	1	1	0	0	6	18	XXXXXXXX																				
19	30	20	36	29	37	39	11	9	37	5	0	0	1	1	0	0	2	22	XX																				
20	14	31	15	21	35	11	26	39	7	22	0	0	1	1	0	0	8	20	XXXXXXXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	8	21	XXXXXXXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	2	22	XX																				
											0	0	1	1	0	0	5	23	XXXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	8	24	XXXXXXXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	7	25	XXXXXXXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	10	26	XXXXXXXXXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	8	27	XXXXXXXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	6	28	XXXXXXXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	4	29	XXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	4	30	XXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	12	31	XXXXXXXXXXXXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	4	32	XXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	6	33	XXXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	6	34	XXXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	11	35	XXXXXXXXXXXXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	4	36	XXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	5	37	XXXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	1	38	X																				
											0	0	1	1	0	0	4	39	XXXXX																				
											0	0	1	1	0	0	3	40	XXX																				
											0	0	1	1	0	0	1	41	X																				
											0	0	1	0	11	0	1	42	X																				
											0	0	1	0	10	1	1	43	X																				
											0	0	1	0	9	1	1	44	X																				
											0	0	1	0	8	1	2	45	XX																				
											0	0	1	0	6	2	0	46																					
											0	0	1	0	6	0	1	47	X																				
											0	0	1	0	5	1	1	48	X																				
											0	0	1	0	4	1	2	49	XX																				
											0	0	1	0	2	2	2	50	XX																				

Observaciones:

SUMA	51			61		
MAXIMO	13	10		11	2	BBNBNBN
DIFERENCIA	0			0		

COLUMNA EXTREM	3	3		2
UTILIZABLE #	3			2
#	1.0000		33	1.0000

#

3. Velocidad y costos de operación para los tipos de vehículos y los índices de rugosidad.

IRI CARACTERÍSTICO

VCR

Tipo de Vehículo	# de vehic.	2.0 flat	2.8 4%	1.5 6%	1.6 8%	1.39 10%
Cars-private	228	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Cars-commercial	12	1.0667	1.1667	1.3330	1.6667	2.0000
Non-Articulated	65	1.4000	2.1000	2.8000	4.2000	5.2222
Buses	0	1.7000	3.0000	4.0000	6.0000	7.0000
Articulated	0	2.4000	4.8000	7.2000	9.6000	12.0000
B-double	305	4.1000	8.1000	12.2000	16.2000	20.3000
Road train 1		4.9500	9.8500	14.8500	19.7500	24.7000
Road train 2		8.8000	17.6000	26.5000	35.3000	44.1000

Tipo de Vehículo	# de vehic.	flat	4%	6%	8%	10%
Cars-private	228	2	2.77	1.48	1.6	1.39
Cars-commercial	12	2.13	3.23	1.97	2.66672	2.78
Non-Articulated	65	2.8	5.817	4.144	6.72	7.258858
Buses	0	3.4	8.31	5.92	9.6	9.73
Articulated	0	4.8	13.296	10.656	15.36	16.68
B-double	305	8.2	22.437	18.056	25.92	28.217
Road train 1	0	9.9	27.2845	21.978	31.6	34.333
Road train 2	0	17.6	48.752	39.22	56.48	61.299

$$Volume = \sum_i AADT_i \times PCE_i$$

Volume = 35361

Hourly Capacity	500.00
Capacity Factor	10.00%

$$Capacity = \frac{Hourly Capacity}{Capacity Factor \%}$$

Capacity = 5000.00

$$VCR = \frac{Volume}{Capacity}$$

VCR = 7.072

Vehicle type	Flat	Grade 4%	Grade 6%	Grade 8%	Grade 10%
Cars-private	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Cars-commercial	1.0667	1.1667	1.3333	1.6667	2.0000
Non-Articulated	1.4000	2.1000	2.8000	4.2000	5.2222
Buses	1.7000	3.0000	4.0000	6.0000	7.0000
Articulated	2.4000	4.8000	7.2000	9.6000	12.0000
B-double	4.1000	8.1000	12.2000	16.2000	20.3000
Road train 1	4.9500	9.8500	14.8500	19.7500	24.7000
Road train 2	8.8000	17.6000	26.5000	35.3000	44.1000

MRS	Road width description	Hourly capacity (PCE/hr)
1	Unsealed natural surface	400
2	Unsealed formed road	400
3	Paved < 4.5 m	500
4	Paved >= 4.5 m	700
5	Narrow seal (<= 4.5 m)	1500
6	Narrow seal 4.6 m-5.2 m	2000
7	2 lane seal 5.3 m-5.8 m	2300
8	2 lane seal 5.9 m-6.4 m	2350
9	2 lane seal 6.5 m-7.0 m	2450
10	2 lane seal 7.1 m-7.6 m	2500
11	2 lane plus shoulder seal 7.7 m-8.2 m	2525
12	2 lane plus shoulder seal 8.3 m-9.0 m	2550
13	2 lane plus shoulder seal 9.1 m-9.4 m	2550
14	2 lane plus shoulder seal 9.5 m-10 m	2565
15	2 lane plus shoulder seal 10.1 m-11.6 m	2575
16	3 lane for overtaking	4000
17	4 lane undivided sealed	7120
18	6 lane undivided sealed	12000
19	4 lane divided sealed	8000
20	6 lane divided sealed	12000
21	4 lane divided (limited access)	8000
22	6 lane divided (limited access)	12000
23	8 lane divided (limited access)	16000

Road type	Capacity factor
National highway	10
Urban single carriageway	10
Urban dual carriageway	12.5
Rural single carriageway	8.33
Rural dual carriageway	10

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.5	1.6	1.4
Factor	77	76	72	64	55

$$Free\ speed\ (VT) = 1 / \sum_i (Grade\%_i / Free\ Speed\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS))$$

Free speed (VT) = 7.50

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.5	1.6	1.4
Factor	0.99	0.99	0.99	1	1

$$FSRG_i = \sum_j Roughness\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS) \times Grade\%$$

FSRG1 = 9.18

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.5	1.6	1.4
Factor	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92

FSRG2 = 7.71

$$NRM = 26.49 \times IRI - 1.27$$

CNRM = 244 244.0028283 9.26

NRMA = 250.00

NRMA1 = 110.00

$$PCSpdF = \max \left\{ \begin{array}{l} FSRG1 - (FSRG1 - FSRG2) \times \frac{(CNRM - NRMA1)}{(NRMA - NRMA1)} \\ FSRG2 \end{array} \right.$$

PCSpdF = 7.77

Vehicle type	Road type	Straight grad 0-2%	Straight grad 4%	Straight grad 6%	Straight grad 8%	Straight grad 10%	Curvy grad 0-2%	Curvy grad 4%	Curvy grad 6%	Curvy grad 8%	Curvy grad 10%	Vicinity grade 2%	Vicinity grade 4%	Vicinity grade 6%	Vicinity grade 8%	Vicinity grade 10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
Cars - commercial	≤ 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Non-Articulated	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Buses	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Articulated	≤ 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
Cars - commercial	> 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Non-Articulated	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Buses	> 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
Articulated	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
Cars - commercial	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Non-Articulated	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Buses	Freeway	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
Articulated	Freeway	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 (≤2%)	Grade factor 2 (4%)	Grade factor 3 (6%)	Grade factor 4 (8%)	Grade factor 5 (≥10%)
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = 58.34 \text{ km/h}$$

$$\text{OS}(VT) = 30 \text{ km/h} + (\text{SPVCR1} - 30 \text{ km/h}) \times \frac{(1.25 - \text{VCR})}{(1.25 - 1)}$$

$$\text{OS}(VT) = -202.89 \text{ km/h}$$

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fsg1	Fsg2	Fsg3	Fsg4	Fsg5	Fsg1	Fsg2	Fsg3	Fsg4	Fsg5	Fsg1	Fsg2	Fsg3	Fsg4	Fsg5
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.91	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad = 0.222285

Factor De gal. A liter.	Diesel	S/. 9.79	S/. 2.59	soles/litro	01/12/2016
3.79	90	S/. 10.39	S/. 2.74	soles/litro	

Diesel	101.82	centavos de dólar australiano/litro
90	108.02	centavos de dólar australiano/litro

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0	
Diesel(VT) =	101.82	
Fuelcf(VT) =	108.02	

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

FCAVF = 1.071

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj) \times VT$$

Fuel Cost(VT) =	143237.20	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	143.2	c/km

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0
Oilcons(VT, OS) =	0.6
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	0.66	L/1000km
Oils(VT) =	522	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) =	0.34	c/km
---------------	------	------

TABLA 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLA 4

OS (VT) = -202.89

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.060	0.073	0.078	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.075
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.120	0.110	0.100
Articulated	0.033	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

0

TABLA 5

OS (VT) = -202.89

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)													Oil costs (c/L)	Pdies
	Operating speed														
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h		
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70
Articulated	1.08	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.50	1.63	488.00	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00

TREAD COST

NoTyre =	4
CTYRE =	121
CRETR =	66
RETN =	0
TREADN =	6.71
TREADR =	5.87

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	7.21	c/0.001mm
-----------------	------	-----------

TyreK(VT) =	201.9
OS(VT) =	-202.9
TyreWC1 =	0.00000
TyreWC2 =	0.42780

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	115.10	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	7.072
TCONG(VT) =	1.7

$$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$$

Cong(VT) =	12.02
------------	-------

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.5	1.6	1.4
Factor	0	0.1	0.2	0.4	0.6
Factor de ajuste por pendiente =					2.047

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0%	0%	10%	30%	60%
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0

Factor de ajuste por pendiente =	6.5
----------------------------------	-----

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre	Ctyre#	Cretr#	Retn	Treadn	Treadr	Tyre wc1	Tyre wc2	Tyre k	Tcong ^a
	Number of tyres (excl. Spares)	Costs of new tyres (\$)	Cost of retreads (\$)	Average number of retreads per tyre	Thickness of tread for new tyre	Thickness of tread for retreaded tyre	Formula factor 1	Formula factor 2	State of tune factor	Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.0	141.2	1.4	9.27	8.50	0.00652	0.00556	305.54	1
Buses	8	309.0	141.2	1.75	9.53	8.92	0.00615	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	30%	60%
Very curvy	0%	0%	60%	20%	20%

Factor de ajuste por rugosidad = 0.16

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) = 18041.28 c/1000 km
 Tyres(VT) = 18.04 c/km

Reparación y mantenimiento

RMUC = 4.5

Rugosidad 244.00

$$rscmrf(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + \frac{(PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \cdot (CNRM - 50)}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + \frac{(PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \cdot (CNRM - 100)}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + \frac{(PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \cdot (CNRM - 150)}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + \frac{(PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \cdot (CNRM - 200)}{250 - 200} \end{cases}$$

200	244.0028283	250
2	2.440028283	2.5

rscmrf = 2.440028283

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmrf(VT)$$

REPMCS = 10.98 c/km

VEHICLESS(VT) =	24410
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	121
NoTyre(VT) =	4

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV = 23780.61

DDPN(VT) = 0.22

TABLA 9

OS (VT) = -202.89

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	8.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/farmed	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

TABLA 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/ year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

Surface type	Depsrif Factor relating distance depreciation to road surface type
Unsurfaced	2.5
Primerseal	1.5
Sealed	1
Concrete	1

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	5.23
--------------	------

TDI(VT) =	9.5
FLEET(VT) =	0
AHOUR(VT) =	1000

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	0.00
--------------	------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	-202.89
----------	---------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	7.85	c/km
--------------	------	------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	180.45	c/km
-----------	--------	------

UnitVOC =	4.58	soles/km
-----------	------	----------

TABLA 12

Vehicyletype	Tax	Vehicles	Ddgn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

VCR

Tipo de Vehículo	# de vehic.	2.0	2.8	1.8	1.6	1.09
		flat	4%	6%	8%	10%
Cars-private	228	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Cars-commercial	12	1.0667	1.1667	1.3330	1.6667	2.0000
Non-Articulated	65	1.4000	2.1000	2.8000	4.2000	5.2222
Buses	0	1.7000	3.0000	4.0000	6.0000	7.0000
Articulated	0	2.4000	4.8000	7.2000	9.6000	12.0000
B-double	0	4.1000	8.1000	12.2000	16.2000	20.3000
Road train 1	0	4.9500	9.8500	14.8500	19.7500	24.7000
Road train 2	0	8.8000	17.6000	26.5000	35.3000	44.1000

Tipo de Vehículo	# de vehic.	flat	4%	6%	8%	10%
Cars-private	228	2	2.77	1.8	1.6	1.09
Cars-commercial	12	2.13	3.23	2.40	2.66672	2.18
Non-Articulated	65	2.8	5.817	5.04	6.72	5.692198
Buses	0	3.4	8.31	7.2	9.6	7.63
Articulated	0	4.8	13.296	12.96	15.36	13.08
B-double	0	8.2	22.437	21.96	25.92	22.127
Road train 1	0	9.9	27.2845	26.73	31.6	26.923
Road train 2	0	17.6	48.752	47.7	56.48	48.069

$$Volume = \sum_i AADT_i \times PCE_i$$

Volume = 3957

Hourly Capacity	700.00
Capacity Factor	10.00%

$$Capacity = \frac{Hourly Capacity}{Capacity Factor \%}$$

Capacity = 7000.00

$$VCR = \frac{Volume}{Capacity}$$

VCR = 0.5653

Vehicle type	Flat	Grade 4%	Grade 6%	Grade 8%	Grade 10%
Cars-private	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Cars-commercial	1.0667	1.1667	1.3333	1.6667	2.0000
Non-Articulated	1.4000	2.1000	2.8000	4.2000	5.2222
Buses	1.7000	3.0000	4.0000	6.0000	7.0000
Articulated	2.4000	4.8000	7.2000	9.6000	12.0000
B-double	4.1000	8.1000	12.2000	16.2000	20.3000
Road train 1	4.9500	9.8500	14.8500	19.7500	24.7000
Road train 2	8.8000	17.6000	26.5000	35.3000	44.1000

MRS	Road width description	Hourly capacity (PCE/hr)
1	Unsealed natural surface	400
2	Unsealed formed road	400
3	Paved < 4.5 m	500
4	Paved >= 4.5 m	700
5	Narrow seal <= 4.5 m	1500
6	Narrow seal 4.6 m-5.2 m	2000
7	2 lane seal 5.3 m-5.8 m	2300
8	2 lane seal 5.9 m-6.4 m	2350
9	2 lane seal 6.5 m-7.0 m	2450
10	2 lane seal 7.1 m-7.6 m	2500
11	2 lane plus shoulder seal 7.7 m-8.2 m	2525
12	2 lane plus shoulder seal 8.3 m-9.0 m	2550
13	2 lane plus shoulder seal 9.1 m-9.4 m	2550
14	2 lane plus shoulder seal 9.5 m-10 m	2565
15	2 lane plus shoulder seal 10.1 m-11.6 m	2575
16	3 lane for overtaking	4000
17	4 lane undivided sealed	7120
18	6 lane undivided sealed	12000
19	4 lane divided sealed	8000
20	6 lane divided sealed	12000
21	4 lane divided (limited access)	8000
22	6 lane divided (limited access)	12000
23	8 lane divided (limited access)	16000

Road type	Capacity factor
National highway	10
Urban single carriageway	10
Urban dual carriageway	12.5
Rural single carriageway	8.33
Rural dual carriageway	10

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	90	89	75	63	52.7

$$Free\ speed\ (VT) = 1 / \sum_i (Grade\%_i / Free\ Speed\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS))$$

Free speed (VT) = 8.10

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.97	0.98	0.99	1	1

$$FSRG_i = \sum_j Roughness\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS) \times Grade\%$$

FSRG1 = 9.13

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91

FSRG2 = 7.15

$$NRM = 26.49 \times IRI - 1.27$$

CNRM = 105 104.69 4.00

NRMA = 250.00

NRMA1 = 110.00

$$PCSpdF = \max \left\{ \begin{array}{l} FSRG1 - (FSRG1 - FSRG2) \times \frac{(CNRM - NRMA1)}{(NRMA - NRMA1)} \\ FSRG2 \end{array} \right.$$

PCSpdF = 9.20

Vehicle type	Road type	Straight grad					Curvy grad					Vicinity grad				
		0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
Cars - commercial	≤ 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Non-Articulated	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Buses	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Articulated	≤ 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
Cars - commercial	> 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Non-Articulated	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Buses	> 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
Articulated	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
Cars - commercial	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Non-Articulated	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Buses	Freeway	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
Articulated	Freeway	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 (≤2%)	Grade factor 2 (4%)	Grade factor 3 (6%)	Grade factor 4 (8%)	Grade factor 5 (≥10%)
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 74.55 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVCR1}) \times \left(\frac{(1 - \text{VCR})}{(1 - \text{VCRSPL})} \right)$$

OS (VT) = 56.69 km/h

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.91	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad = 0.137362947

Factor De gal. A liter.	Diesel	S/. 9.79	S/. 2.59	soles/litro	01/12/2016
3.79	90	S/. 10.39	S/. 2.74	soles/litro	

Diesel	101.82	centavos de dólar australiano/litro
90	108.02	centavos de dólar australiano/litro

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0	
Diesel(VT) =	101.82	
Fuelcf(VT) =	108.02	

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

FCAVF = 1.071

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj) \times VT$$

Fuel Cost(VT) =	36185.49	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	36.2	c/km

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0
Oilcons(VT, OS) =	0.63
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	0.69	L/1000km
Oils(VT) =	522	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) =	0.36	c/km
---------------	------	------

TABLA 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLA 4

OS (VT) = 56.69

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.060	0.073	0.078	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.075
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.120	0.110	0.100
Articulated	0.033	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

0

TABLA 5

OS (VT) = 56.69

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)												Oil costs (c/L)	Pdies	
	Operating speed														
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h			104-112km/h
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70
Articulated	1.08	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.50	1.63	488.00	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00

TREAD COST

NoTyre =	4
CTYRE =	121
CRETR =	66
RETN =	0
TREADN =	6.71
TREADR =	5.87

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	7.21	c/0.001mm
-----------------	------	-----------

TyreK(VT) =	201.9
OS(VT) =	56.7
TyreWC1 =	0.00000
TyreWC2 =	0.42780

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	226.15	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1.7

$$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$$

Cong(VT) =	0.96
------------	------

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.1	0.2	0.4	0.6
Factor de ajuste por pendiente =					1.931

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0%	0%	10%	30%	60%
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0

Factor de ajuste por pendiente =	6.5
----------------------------------	-----

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre	Ctyre#	Cretr#	Retn	Treadn	Treadr	Tyre wc1	Tyre wc2	Tyre k	Tcong ^a
	Number of tyres (excl. Spares)	Costs of new tyres (\$)	Cost of retreads (\$)	Average number of retreads per tyre	Thickness of tread for new tyre	Thickness of tread for retreaded tyre	Formula factor 1	Formula factor 2	State of tune factor	Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.0	141.2	1.4	9.27	8.50	0.00652	0.08556	305.54	1
Buses	8	309.0	141.2	1.75	9.53	8.92	0.00615	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	30%	60%
Very curvy	0%	0%	60%	20%	20%

Factor de ajuste por rugosidad = 0.16

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) = 17213.01 c/1000 km
 Tyres(VT) = 17.21 c/km

Reparación y mantenimiento

RMUC = 4.5

Rugosidad = 104.69

$$rscmrf(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + \frac{(PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \cdot CNRM - 50}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + \frac{(PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \cdot CNRM - 100}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + \frac{(PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \cdot CNRM - 150}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + \frac{(PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \cdot CNRM - 200}{250 - 200} \end{cases}$$

100	104.69	150
1.57	1.577504	1.65

rscmrf = 1.577504

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmrf(VT)$$

REPMCS = 7.10 c/km

VEHICLESS(VT) =	24410
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	121
NoTyre(VT) =	4

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV = 23780.61

DDPN(VT) = 0.22

TABLA 9

OS (VT) = 56.69

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	8.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/farmed	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

TABLA 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2033
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

Surface type	Depsrif Factor relating distance depreciation to road surface type
Unsurfaced	2.5
Primerseal	1.5
Sealed	1
Concrete	1

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	5.23
--------------	------

TDI(VT) =	9.5
FLEET(VT) =	0
AHOUR(VT) =	1000

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	0.00
--------------	------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	56.69
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT)=	7.85	c/km
-------------	------	------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	68.71	c/km
-----------	-------	------

UnitVOC =	1.75	soles/km
-----------	------	----------

TABLA 12

Vehicle type	Tax	Vehicles	Ddgn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	85.7	83.3	75	63	52.7

$$\text{Free speed (VT)} = 7.89$$

$$\text{Free speed (VT)} = 1 / \sum_i (\text{Grade}\%_i / \text{Free Speed Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)})$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.97	0.98	0.99	1	1

$$\text{FSRG1} = 9.13$$

$$\text{FSRG}_i = \sum_i \text{Roughness Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)} \times \text{Grade}\%$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92

$$\text{FSRG2} = 7.29$$

$$\text{NRM} = 26.49 \times \text{IRI} - 1.27$$

$$\text{CNRM} = 104.69$$

$$\text{NRMA} = 250.00$$

$$\text{NRMA1} = 110.00$$

$$\text{PCSpdF} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \text{FSRG1} - (\text{FSRG1} - \text{FSRG2}) \times \frac{(\text{CNRM} - \text{NRMA1})}{(\text{NRMA} - \text{NRMA1})} \\ \text{FSRG2} \end{array} \right.$$

$$\text{PCSpdF} = 9.20$$

TABLA 1

Vehicle type	Road type	Straight grad					Curvy grad					Vicinity grad				
		0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
Cars - commercial	≤ 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Non-Articulated	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Buses	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Articulated	≤ 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
Cars - commercial	> 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Non-Articulated	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Buses	> 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
Articulated	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
Cars - commercial	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Non-Articulated	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Buses	Freeway	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
Articulated	Freeway	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

TABLA 2

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 <2%	Grade factor 2 <4%	Grade factor 3 <6%	Grade factor 4 <8%	Grade factor 5 <10%
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 72.60 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVVCR1}) \times \left(\frac{(1 - \text{VCR})}{(1 - \text{VCRSPL})} \right)$$

OS (VT) = 55.75 km/h

Table 6: FSRG1 – Pavement speed condition factor at 110 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy					
		flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	
		Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	1	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	

Table 7: FSRG2 – Pavement speed condition factor at 250 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy					
		flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	
		Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94	
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94	
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95	
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97	
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97	
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93	
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.91	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93	
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95	
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97	
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97	
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.124
----------------------------------	-------

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0	
Diesel(VT) =	101.82	c/litro

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

Fuelcf(VT) =	108.0193791
FCAVF =	1.071

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj) \times VT$$

Fuel Cost(VT) =	43506	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	43.51	c/km

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0
Oilcons(VT, OS) =	0.63
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	0.69	L/1000km
Oils(VT) =	511	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) =	0.35	c/km
---------------	------	------

TABLA 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLA 4

OS (VT) = 55.75

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.060	0.073	0.078	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.073
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.120	0.110	0.100
Articulated	0.033	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

TABLA 5

OS (VT) = 55.75

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)												Oil costs (c/l)	Pdies	
	Operating speed														
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h			104-112km/h
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70
Articulated	1.88	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.63	488.00	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00

TREAD COST

NoTyre =	4
CTYRE =	136.33
CRETR =	84.67
RETN =	0
TREADN =	7.22
TREADR =	6.32

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	7.55	c/0.001mm
-----------------	------	-----------

Tyrek(VT) =	201.9
OS(VT) =	55.7
TyreWC1 =	0.00
TyreWC2 =	0.42780

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	225.75	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1.7

$$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$$

Cong(VT) =	0.961
------------	-------

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.14	0.27	0.54	0.81
Factor de ajuste por pendiente =					2.621

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0
Factor de ajuste por rugosidad =					6.500

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.160
----------------------------------	-------

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre	Ctyre#	Cretr#	Retn	Treadn	Treadr	Tyre wc1	Tyre wc2	Tyre k	Tcong ⁿ
	Number of tyres (excl. Spares)	Costs of new tyres (\$)	Cost of retreads (\$)	Average number of retreads per tyre	Thickness of tread for new tyre	Thickness of tread for retreaded tyre	Formula factor 1	Formula factor 2	State of tune factor	Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.8	141.2	1.4	9.27	0.58	0.00652	0.00556	305.54	1
Buses	8	309.8	141.2	1.75	9.53	0.92	0.00815	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	30%	60%
Very curvy	0%	0%	80%	20%	20%

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) =	19167.72	c/1000 km c/km
Tyres(VT) =	19.17	

TABLA 9

OS (VT) = 55.75

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Reparación y mantenimiento

RMUC =	4.6
Rugosidad	104.69

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	16.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

$$rscmrf(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + (PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \frac{CNRM - 50}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + (PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \frac{CNRM - 100}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + (PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \frac{CNRM - 150}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + (PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \frac{CNRM - 200}{250 - 200} \end{cases}$$

100	104.690	150
1.57	1.578	1.65

rscmrf =	1.577504
----------	----------

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/formed	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmrf(VT)$$

REPMCS =	7.26	c/km
----------	------	------

VEHICLESS(VT) =	29890
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	136.33
NoTyre(VT) =	4

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV =	29178.49
-------	----------

TABLA 12

Vehicle type	Tax	Vehicles	Ddpn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	28,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

DDPN(VT) =	0.25
------------	------

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	7.29
--------------	------

TDI(VT) =	9.2
FLEET(VT) =	0
AHOUR(VT) =	1200

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	0.00
--------------	------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	55.75
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	10.94
--------------	-------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	81.23
-----------	-------

c/km

UnitVOC =	2.06
-----------	------

soles/km

Surface type	Depsr
Factor relating distance depreciation to road surface type	
Unsurfaced	2.5
Primerseal	1.5
Sealed	1
Concrete	1

TABLE 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/ year vehicle is available on the road
Cars – private	10%	28,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars – commercial	10%	29,090	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2033
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	79.8	67.2	55	44.2	36

$$\text{Free speed (VT)} = 6.04$$

$$\text{Free speed (VT)} = 1 / \sum_i (\text{Grade}\%_i / \text{Free Speed Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)})$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.96	0.97	0.98	0.99	1

$$\text{FSRG1} = 9.04$$

$$\text{FSRG}_i = \sum_i \text{Roughness Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)} \times \text{Grade}\%$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95

$$\text{FSRG2} = 7.55$$

$$\text{NRM} = 26.49 \times \text{IRI} - 1.27$$

$$\text{CNRM} = 104.69$$

$$\text{NRMA} = 250.00$$

$$\text{NRMA1} = 110.00$$

$$\text{PCSpdF} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \text{FSRG1} - (\text{FSRG1} - \text{FSRG2}) \times \frac{(\text{CNRM} - \text{NRMA1})}{(\text{NRMA} - \text{NRMA1})} \\ \text{FSRG2} \end{array} \right.$$

$$\text{PCSpdF} = 9.10$$

Vehicle type	Road type	Straight grad					Curvy grad					Vicinity grad				
		0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
	≤ 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Non-Articulated	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Buses	≤ 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
	> 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Cars - commercial	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
	> 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
Non-Articulated	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Buses	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Cars - commercial	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
	Freeway	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
Non-Articulated	Freeway	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Buses	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
B-double	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 (<2%)	Grade factor 2 (<4%)	Grade factor 3 (<6%)	Grade factor 4 (<8%)	Grade factor 5 (<10%)
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 55.00 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVVCR1}) \times \left(\frac{1 - \text{VCR}}{1 - \text{VCRSPL}} \right)$$

OS (VT) = 47.24 km/h

Table 6: FSRG1 – Pavement speed condition factor at 110 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	1	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1

Table 7: FSRG2 – Pavement speed condition factor at 250 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.91	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad = 0.152472872

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0.5	
Diesel(VT) =	101.82	c/litro
Fuelcf(VT) =	104.92	

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

FCAVF = 1.1

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj)VT$$

Fuel Cost(VT) =	111823	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	111.82	c/km

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0.5
Oilcons(VT, OS) =	0.96
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	1.32	L/1000km
Oils(VT) =	488	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) = 0.64 c/km

TABLA 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - comercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLA 4

OS (VT) = 47.24

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - comercial	0.026	0.060	0.068	0.073	0.078	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.073
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.110	0.110	0.100
Articulated	0.053	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

TABLA 5

OS (VT) = 47.24

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)											Oil costs (c/L)	Pdies		
	Operating speed														
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h			96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - comercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70
Articulated	1.88	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.63	488.00	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00

TREAD COST

NoTyre =	7
CTYRE =	309.8
CRETR =	141.2
RETN =	1.4
TREADN =	9.27
TREADR =	8.58

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	16.69	c/0.001mm
-----------------	-------	-----------

TyreK(VT) =	305.54
OS(VT) =	47.2
TyreWC1 =	0.00652
TyreWC2 =	0.08556

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	324.13	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1
$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$	
Cong(VT) =	0.565

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.14	0.27	0.54	0.81
Factor de ajuste por pendiente =					2.6207

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0

Factor de ajuste por pendiente =	6.5
----------------------------------	-----

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.31
----------------------------------	------

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre Number of tyres (excl. Spares)	Ctyre# Costs of new tyres (\$)	Cretr# Cost of retreads (\$)	Retn Average number of retreads per tyre	Treadn Thickness of tread for new tyre	Treadr Thickness of tread for retreaded tyre	Tyre wc1 Formula factor 1	Tyre wc2 Formula factor 2	Tyre k State of tune factor	Tcong ⁿ Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.0	141.2	1.4	9.27	8.50	0.00652	0.08556	305.54	1
Buses	8	309.0	141.2	1.75	9.53	8.92	0.00615	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	50%	60%
Very curvy	0%	0%	60%	20%	20%

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) =	59492.87354	c/1000 km
Tyres(VT) =	59.49	c/km

TABLA 9

OS (VT) = 47.24

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Reparación y mantenimiento

RMUC =	8.6
Rugosidad	104.69

100	104.69	150
1.57	1.577504	1.65

$$rscmr(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + \frac{(PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \cdot (CNRM - 50)}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + \frac{(PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \cdot (CNRM - 100)}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + \frac{(PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \cdot (CNRM - 150)}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + \frac{(PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \cdot (CNRM - 200)}{250 - 200} \end{cases}$$

rscmr =	1.577504
---------	----------

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmr(VT)$$

REPMCS =	13.57	c/km
----------	-------	------

VEHICLESS(VT) =	101450
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	309.8
NoTyre(VT) =	7

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV =	98870.25
-------	----------

DDPN(VT) =	0.28
------------	------

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	8.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/formed	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

TABLA 12

Vehicle type	Tax	Vehicles	Ddpn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours / year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	27.68
--------------	-------

TDI(VT) =	7.4
FLEET(VT) =	0.8
AHOUR(VT) =	1760

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	332.56
--------------	--------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	47.24
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	48.56
--------------	-------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	234.09
-----------	--------

c/km

UnitVOC =	5.95
-----------	------

soles/km

Surface type	Factor relating distance depreciation to road surface type	Depsrif
Unsurfaced		2.5
Primeiseal		1.5
Sealed		1
Concrete		1

TABLE 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

VCR

Tipo de Vehículo	# de vehic.	2.0	2.8	1.8	1.6	1.09
		flat	4%	6%	8%	10%
Cars-private	228	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Cars-commercial	12	1.0667	1.1667	1.3330	1.6667	2.0000
Non-Articulated	65	1.4000	2.1000	2.8000	4.2000	5.2222
Buses	0	1.7000	3.0000	4.0000	6.0000	7.0000
Articulated	0	2.4000	4.8000	7.2000	9.6000	12.0000
B-double		4.1000	8.1000	12.2000	16.2000	20.3000
Road train 1		4.9500	9.8500	14.8500	19.7500	24.7000
Road train 2		8.8000	17.6000	26.5000	35.3000	44.1000

Tipo de Vehículo	# de vehic.	flat	4%	6%	8%	10%
Cars-private	228	2	2.77	1.8	1.6	1.09
Cars-commercial	12	2.13	3.23	2.40	2.66672	2.18
Non-Articulated	65	2.8	5.817	5.04	6.72	5.692198
Buses	0	3.4	8.31	7.2	9.6	7.63
Articulated	0	4.8	13.296	12.96	15.36	13.08
B-double	0	8.2	22.437	21.96	25.92	22.127
Road train 1	0	9.9	27.2845	26.73	31.6	26.923
Road train 2	0	17.6	48.752	47.7	56.48	48.069

$$Volume = \sum_i AADT_i \times PCE_i$$

Volume = 3957

Hourly Capacity	700.00
Capacity Factor	10.00%

$$Capacity = \frac{Hourly Capacity}{Capacity Factor \%}$$

Capacity = 7000.00

$$VCR = \frac{Volume}{Capacity}$$

VCR = 0.5653

Vehicle type	Flat	Grade 4%	Grade 6%	Grade 8%	Grade 10%
Cars-private	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Cars-commercial	1.0667	1.1667	1.3333	1.6667	2.0000
Non-Articulated	1.4000	2.1000	2.8000	4.2000	5.2222
Buses	1.7000	3.0000	4.0000	6.0000	7.0000
Articulated	2.4000	4.8000	7.2000	9.6000	12.0000
B-double	4.1000	8.1000	12.2000	16.2000	20.3000
Road train 1	4.9500	9.8500	14.8500	19.7500	24.7000
Road train 2	8.8000	17.6000	26.5000	35.3000	44.1000

MRS	Road width description	Hourly capacity (PCE/hr)
1	Unsealed natural surface	400
2	Unsealed formed road	400
3	Paved < 4.5 m	500
4	Paved >= 4.5 m	700
5	Narrow seal <= 4.5 m	1500
6	Narrow seal 4.6 m-5.2 m	2000
7	2 lane seal 5.3 m-5.8 m	2300
8	2 lane seal 5.9 m-6.4 m	2350
9	2 lane seal 6.5 m-7.0 m	2450
10	2 lane seal 7.1 m-7.6 m	2500
11	2 lane plus shoulder seal 7.7 m-8.2 m	2525
12	2 lane plus shoulder seal 8.3 m-9.0 m	2550
13	2 lane plus shoulder seal 9.1 m-9.4 m	2550
14	2 lane plus shoulder seal 9.5 m-10 m	2565
15	2 lane plus shoulder seal 10.1 m-11.6 m	2575
16	3 lane for overtaking	4000
17	4 lane undivided sealed	7120
18	6 lane undivided sealed	12000
19	4 lane divided sealed	8000
20	6 lane divided sealed	12000
21	4 lane divided (limited access)	8000
22	6 lane divided (limited access)	12000
23	8 lane divided (limited access)	16000

Road type	Capacity factor
National highway	10
Urban single carriageway	10
Urban dual carriageway	12.5
Rural single carriageway	8.33
Rural dual carriageway	10

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	90	89	75	63	52.7

$$Free\ speed\ (VT) = 1 / \sum_i (Grade\%_i / Free\ Speed\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS))$$

Free speed (VT) = 8.10

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.97	0.98	0.99	1	1

$$FSRG_i = \sum_j Roughness\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS) \times Grade\%$$

FSRG1 = 9.13

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91

FSRG2 = 7.15

$$NRM = 26.49 \times IRI - 1.27$$

CNRM = 158 157.67 6.00

NRMA = 250.00

NRMA1 = 110.00

$$PCSpdF = \max \left\{ \begin{array}{l} FSRG1 - (FSRG1 - FSRG2) \times \frac{(CNRM - NRMA1)}{(NRMA - NRMA1)} \\ FSRG2 \end{array} \right.$$

PCSpdF = 8.45

Vehicle type	Road type	Straight grad 0-2%					Curvy grad 0-2%					Vicinity grad 0-2%				
		Straight grad 0-2%	Straight grad 4%	Straight grad 6%	Straight grad 8%	Straight grad 10%	Curvy grad 0-2%	Curvy grad 4%	Curvy grad 6%	Curvy grad 8%	Curvy grad 10%	Vicinity grad 0-2%	Vicinity grad 4%	Vicinity grad 6%	Vicinity grad 8%	Vicinity grad 10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
Cars - commercial	≤ 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Non-Articulated	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Buses	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Articulated	≤ 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
Cars - commercial	> 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Non-Articulated	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Buses	> 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
Articulated	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
Cars - commercial	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Non-Articulated	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Buses	Freeway	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
Articulated	Freeway	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 (<2%)	Grade factor 2 (4%)	Grade factor 3 (6%)	Grade factor 4 (8%)	Grade factor 5 (>10%)
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 68.50 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVVCR1}) \times \left(\frac{(1 - \text{VCR})}{(1 - \text{VCRSPL})} \right)$$

OS (VT) = 53.76 km/h

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg6	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg6	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg6
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.91	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad = 0.222285

Factor De gal. A liter.	Diesel	S/. 9.79	S/. 2.59	soles/litro	01/12/2016
3.79	90	S/. 10.39	S/. 2.74	soles/litro	

Diesel	101.82	centavos de dólar australiano/litro
90	108.02	centavos de dólar australiano/litro

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0	
Diesel(VT) =	101.82	
Fuelcf(VT) =	108.02	

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

FCAVF = 1.071

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj) \times VT$$

Fuel Cost(VT) =	38628.77	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	38.6	c/km

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0
Oilcons(VT, OS) =	0.6
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	0.66	L/1000km
Oils(VT) =	522	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) =	0.34	c/km
---------------	------	------

TABLE 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLE 4

OS (VT) = 53.76

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.060	0.073	0.078	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.075
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.120	0.110	0.100
Articulated	0.033	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

0

TABLE 5

OS (VT) = 53.76

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)													Oil costs (c/L)	Pdies
	Operating speed														
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h		
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70
Articulated	1.08	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.50	1.63	488.00	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00

TREAD COST

NoTyre =	4
CTYRE =	121
CRETR =	66
RETN =	0
TREADN =	6.71
TREADR =	5.87

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	7.21	c/0.001mm
-----------------	------	-----------

TyreK(VT) =	201.9
OS(VT) =	53.8
TyreWC1 =	0.00000
TyreWC2 =	0.42780

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	224.90	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1.7

$$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$$

Cong(VT) =	0.96
------------	------

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.1	0.2	0.4	0.6
Factor de ajuste por pendiente =					1.931

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0%	0%	10%	30%	60%
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0

Factor de ajuste por pendiente =	6.5
----------------------------------	-----

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre	Ctyre#	Cretr#	Retn	Treadn	Treadr	Tyre wc1	Tyre wc2	Tyre k	Tcong ^a
	Number of tyres (excl. Spares)	Costs of new tyres (\$)	Cost of retreads (\$)	Average number of retreads per tyre	Thickness of tread for new tyre	Thickness of tread for retreaded tyre	Formula factor 1	Formula factor 2	State of tune factor	Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.0	141.2	1.4	9.27	8.50	0.00652	0.08556	305.54	1
Buses	8	309.0	141.2	1.75	9.53	8.92	0.00615	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	30%	60%
Very curvy	0%	0%	60%	20%	20%

Factor de ajuste por rugosidad = 0.16

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) = 17117.81 c/1000 km
 Tyres(VT) = 17.12 c/km

Reparación y mantenimiento

RMUC = 4.5

Rugosidad = 157.67

$$rscmrf(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + \frac{(PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \cdot (CNRM - 50)}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + \frac{(PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \cdot (CNRM - 100)}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + \frac{(PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \cdot (CNRM - 150)}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + \frac{(PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \cdot (CNRM - 200)}{250 - 200} \end{cases}$$

150	157.67	200
1.65	1.70369	2

rscmrf = 1.70369

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmrf(VT)$$

REPMCS = 7.67 c/km

VEHICLESS(VT) =	24410
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	121
NoTyre(VT) =	4

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV = 23780.61

DDPN(VT) = 0.22

TABLA 9

OS (VT) = 53.76

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	8.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/farmed	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

TABLA 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2033
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

Surface type	Depsrif Factor relating distance depreciation to road surface type
Unsurfaced	2.5
Primerseal	1.5
Sealed	1
Concrete	1

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	5.23
--------------	------

TDI(VT) =	9.5
FLEET(VT) =	0
AHOUR(VT) =	1000

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	0.00
--------------	------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	53.76
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	7.85	c/km
--------------	------	------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	71.61	c/km
-----------	-------	------

UnitVOC =	1.82	soles/km
-----------	------	----------

TABLA 12

Vehicyletype	Tax	Vehicles	Ddgn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours/ year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	85.7	83.3	75	63	52.7

$$\text{Free speed (VT)} = 7.89$$

$$\text{Free speed (VT)} = 1 / \sum_i (\text{Grade}\%_i / \text{Free Speed Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)})$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.97	0.98	0.99	1	1

$$\text{FSRG1} = 9.13$$

$$\text{FSRG}_i = \sum_i \text{Roughness Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)} \times \text{Grade}\%$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92

$$\text{FSRG2} = 7.29$$

$$\text{NRM} = 26.49 \times \text{IRI} - 1.27$$

$$\text{CNRM} = 157.67 \quad 157.67 \quad 6$$

$$\text{NRMA} = 250.00$$

$$\text{NRMA1} = 110.00$$

$$\text{PCSpdF} = \text{Max} \begin{cases} \text{FSRG1} - (\text{FSRG1} - \text{FSRG2}) \times \frac{(\text{CNRM} - \text{NRMA1})}{(\text{NRMA} - \text{NRMA1})} \\ \text{FSRG2} \end{cases}$$

$$\text{PCSpdF} = 8.50$$

TABLA 1

Vehicle type	Road type	Straight grad					Curvy grad					Vicinity grad				
		0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
Cars - commercial	≤ 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Non-Articulated	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Buses	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Articulated	≤ 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
Cars - commercial	> 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Non-Articulated	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Buses	> 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
Articulated	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
Cars - commercial	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Non-Articulated	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Buses	Freeway	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
Articulated	Freeway	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

TABLA 2

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 <2%	Grade factor 2 <4%	Grade factor 3 <6%	Grade factor 4 <8%	Grade factor 5 <10%
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 67.11 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVVCR1}) \times \left(\frac{(1 - \text{VCR})}{(1 - \text{VCRSPL})} \right)$$

OS (VT) = 53.10 km/h

Table 6: FSRG1 – Pavement speed condition factor at 110 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy					
		flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	
		Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	1	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	

Table 7: FSRG2 – Pavement speed condition factor at 250 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy					
		flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	
		Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94	
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94	
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95	
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97	
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97	
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93	
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.93	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93	
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95	
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97	
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97	
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.215
----------------------------------	-------

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0	
Diesel(VT) =	101.82	c/litro

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

Fuelcf(VT) =	108.0193791
FCAVF =	1.071

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj) \times VT$$

Fuel Cost(VT) =	46860	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	46.86	c/km

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0
Oilcons(VT, OS) =	0.6
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	0.66	L/1000km
Oils(VT) =	511	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) =	0.34	c/km
---------------	------	------

TABLA 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLA 4

OS (VT) = 53.10

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.060	0.073	0.073	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.073
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.120	0.110	0.100
Articulated	0.033	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

TABLA 5

OS (VT) = 53.10

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)												Oil costs (c/L)	Pdies	
	Operating speed														
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h			104-112km/h
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70
Articulated	1.88	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.63	488.00	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00

TREAD COST

NoTyre =	4
CTYRE =	136.33
CRETR =	84.67
RETN =	0
TREADN =	7.22
TREADR =	6.32

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	7.55	c/0.001mm
-----------------	------	-----------

TyreK(VT) =	201.9
OS(VT) =	53.1
TyreWC1 =	0.00
TyreWC2 =	0.42780

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	224.61	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1.7

$$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$$

Cong(VT) =	0.961
------------	-------

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.14	0.27	0.54	0.81
Factor de ajuste por pendiente =					2.621

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0
Factor de ajuste por rugosidad =					6.500

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.160
----------------------------------	-------

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre	Ctyre#	Cretr#	Retn	Treadn	Treadr	Tyre wc1	Tyre wc2	Tyre k	Tcong#
	Number of tyres (excl. Spares)	Costs of new tyres (\$)	Cost of retreads (\$)	Average number of retreads per tyre	Thickness of tread for new tyre	Thickness of tread for retreaded tyre	Formula factor 1	Formula factor 2	State of tune factor	Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.8	141.2	1.4	9.27	0.58	0.00652	0.08556	305.54	1
Buses	8	309.8	141.2	1.75	9.53	0.92	0.00815	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	30%	60%
Very curvy	0%	0%	80%	20%	20%

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) =	19071.49	c/1000 km
Tyres(VT) =	19.07	

TABLA 9

OS (VT) = 53.10

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Reparación y mantenimiento

RMUC =	4.6
Rugosidad	157.67

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	16.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

$$rscmrf(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + \frac{(PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \cdot (CNRM - 50)}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + \frac{(PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \cdot (CNRM - 100)}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + \frac{(PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \cdot (CNRM - 150)}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + \frac{(PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \cdot (CNRM - 200)}{250 - 200} \end{cases}$$

150	157.670	200
1.65	1.704	2

rscmrf =	1.70369
----------	---------

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/formed	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmrf(VT)$$

REPMCS =	7.84	c/km
----------	------	------

VEHICLESS(VT) =	29890
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	136.33
NoTyre(VT) =	4

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV =	29178.49
-------	----------

TABLA 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	28,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

DDPN(VT) =	0.25
------------	------

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	7.29
--------------	------

TDI(VT) =	9.2
FLEET(VT) =	0
AHOUR(VT) =	1200

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	0.00
--------------	------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	53.10
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	10.94
--------------	-------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	85.05
-----------	-------

c/km

UnitVOC =	2.16
-----------	------

soles/km

Surface type	Depsr
Factor relating distance depreciation to road surface type	
Unsurfaced	2.5
Primerseal	1.5
Sealed	1
Concrete	1

TABLE 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/ year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	28,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,090	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2033
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	79.8	67.2	55	44.2	36

$$\text{Free speed (VT)} = 6.04$$

$$\text{Free speed (VT)} = 1 / \sum_i (\text{Grade}\%_i / \text{Free Speed Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)})$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.96	0.97	0.98	0.99	1

$$\text{FSRG1} = 9.04$$

$$\text{FSRG}_i = \sum_i \text{Roughness Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)} \times \text{Grade}\%$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95

$$\text{FSRG2} = 7.55$$

$$\text{NRM} = 26.49 \times \text{IRI} - 1.27$$

$$\text{CNRM} = 157.67$$

$$\text{NRMA} = 250.00$$

$$\text{NRMA1} = 110.00$$

$$\text{PCSpdF} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \text{FSRG1} - (\text{FSRG1} - \text{FSRG2}) \times \frac{(\text{CNRM} - \text{NRMA1})}{(\text{NRMA} - \text{NRMA1})} \\ \text{FSRG2} \end{array} \right.$$

$$\text{PCSpdF} = 8.54$$

Vehicle type	Road type	Straight grad 0-2%	Straight grad 4%	Straight grad 6%	Straight grad 8%	Straight grad 10%	Curvy grad 0-2%	Curvy grad 4%	Curvy grad 6%	Curvy grad 8%	Curvy grad 10%	Vicinity grad 0-2%	Vicinity grad 4%	Vicinity grad 6%	Vicinity grad 8%	Vicinity grad 10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
	> 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Non-Articulated	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
	> 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Buses	≤ 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Cars - commercial	> 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Non-Articulated	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Buses	> 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
	Freeway	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
Articulated	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
	Freeway	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 (<2%)	Grade factor 2 (<4%)	Grade factor 3 (<6%)	Grade factor 4 (<8%)	Grade factor 5 (<10%)
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 51.59 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVVCR1}) \times \left(\frac{1 - \text{VCR}}{1 - \text{VCRSPL}} \right)$$

OS (VT) = 45.60 km/h

Table 6: FSRG1 – Pavement speed condition factor at 110 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	1	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1

Table 7: FSRG2 – Pavement speed condition factor at 250 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.91	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.283605
----------------------------------	----------

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0.5	
Diesel(VT) =	101.82	c/litro
Fuelcf(VT) =	104.92	

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

FCAVF =	1.1
---------	-----

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj)VT$$

Fuel Cost(VT) =	114160	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	114.16	c/km

TABLA 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLA 4

OS (VT) =	45.60
-----------	-------

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.068	0.073	0.078	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.073
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.110	0.110	0.100
Articulated	0.053	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

TABLA 5

OS (VT) =	45.60
-----------	-------

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)											Oil costs (c/d)	Pdies			
	Operating speed															
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h			
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70	0.70
Articulated	1.88	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.63	488.00	0.90	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00	1.00

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0.5
Oilcons(VT, OS) =	0.96
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	1.32	L/1000km
Oils(VT) =	488	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) =	0.64	c/km
---------------	------	------

TREAD COST

NoTyre =	7
CTYRE =	309.8
CRETR =	141.2
RETN =	1.4
TREADN =	9.27
TREADR =	8.58

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	16.69	c/0.001mm
-----------------	-------	-----------

TyreK(VT) =	305.54
OS(VT) =	45.6
TyreWC1 =	0.00652
TyreWC2 =	0.08556

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	323.00	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1
$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$	
Cong(VT) =	0.565

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.14	0.27	0.54	0.81
Factor de ajuste por pendiente =					2.6207

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0
Factor de ajuste por pendiente =					6.5

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

Factor de ajuste por rugosidad =					0.31
----------------------------------	--	--	--	--	------

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre Number of tyres (excl. Spare)	Ctyre# Costs of new tyres (\$)	Cretr# Cost of retreads (\$)	Retn Average number of retreads per tyre	Treadn Thickness of tread for new tyre	Treadr Thickness of tread for retreaded tyre	Tyre wc1 Formula factor 1	Tyre wc2 Formula factor 2	Tyre k State of tune factor	Tcong ⁿ Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.0	141.2	1.4	9.27	8.50	0.00652	0.08556	305.54	1
Buses	8	309.0	141.2	1.75	9.53	8.92	0.00615	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	50%	60%
Very curvy	0%	0%	60%	20%	20%

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) =	59284.11526	c/1000 km
Tyres(VT) =	59.28	c/km

TABLA 9

OS (VT) = 45.60

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Reparación y mantenimiento

RMUC =	8.6
Rugosidad	157.67

150	157.67	200
1.65	1.70369	2

$$rscmr(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + \frac{(PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \cdot CNRM - 50}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + \frac{(PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \cdot CNRM - 100}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + \frac{(PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \cdot CNRM - 150}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + \frac{(PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \cdot CNRM - 200}{250 - 200} \end{cases}$$

rscmr =	1.70369
---------	---------

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmr(VT)$$

REPMCS =	14.65	c/km
----------	-------	------

VEHICLESS(VT) =	101450
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	309.8
NoTyre(VT) =	7

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV =	98870.25
-------	----------

DDPN(VT) =	0.28
------------	------

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	8.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/formed	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

TABLA 12

Vehicle type	Tax	Vehicles	Ddpn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours / year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	27.68
--------------	-------

TDI(VT) =	7.4
FLEET(VT) =	0.8
AHOUR(VT) =	1760

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	332.56
--------------	--------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	45.60
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	48.82
--------------	-------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	237.56
-----------	--------

c/km

UnitVOC =	6.03
-----------	------

soles/km

Surface type	Factor relating distance depreciation to road surface type	Depsrif
Unsurfaced		2.5
Primeiseal		1.5
Sealed		1
Concrete		1

TABLE 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/ year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

VCR

Tipo de Vehículo	# de vehic.	2.0	2.8	1.8	1.6	1.09
		flat	4%	6%	8%	10%
Cars-private	228	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Cars-commercial	12	1.0667	1.1667	1.3330	1.6667	2.0000
Non-Articulated	65	1.4000	2.1000	2.8000	4.2000	5.2222
Buses	0	1.7000	3.0000	4.0000	6.0000	7.0000
Articulated	0	2.4000	4.8000	7.2000	9.6000	12.0000
B-double		4.1000	8.1000	12.2000	16.2000	20.3000
Road train 1		4.9500	9.8500	14.8500	19.7500	24.7000
Road train 2		8.8000	17.6000	26.5000	35.3000	44.1000

Tipo de Vehículo	# de vehic.	flat	4%	6%	8%	10%
Cars-private	228	2	2.77	1.8	1.6	1.09
Cars-commercial	12	2.13	3.23	2.40	2.66672	2.18
Non-Articulated	65	2.8	5.817	5.04	6.72	5.692198
Buses	0	3.4	8.31	7.2	9.6	7.63
Articulated	0	4.8	13.296	12.96	15.36	13.08
B-double	0	8.2	22.437	21.96	25.92	22.127
Road train 1	0	9.9	27.2845	26.73	31.6	26.923
Road train 2	0	17.6	48.752	47.7	56.48	48.069

$$Volume = \sum_i AADT_i \times PCE_i$$

Volume = 3957

Hourly Capacity	700.00
Capacity Factor	10.00%

$$Capacity = \frac{Hourly Capacity}{Capacity Factor \%}$$

Capacity = 7000.00

$$VCR = \frac{Volume}{Capacity}$$

VCR = 0.5653

Vehicle type	Flat	Grade 4%	Grade 6%	Grade 8%	Grade 10%
Cars-private	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Cars-commercial	1.0667	1.1667	1.3333	1.6667	2.0000
Non-Articulated	1.4000	2.1000	2.8000	4.2000	5.2222
Buses	1.7000	3.0000	4.0000	6.0000	7.0000
Articulated	2.4000	4.8000	7.2000	9.6000	12.0000
B-double	4.1000	8.1000	12.2000	16.2000	20.3000
Road train 1	4.9500	9.8500	14.8500	19.7500	24.7000
Road train 2	8.8000	17.6000	26.5000	35.3000	44.1000

MRS	Road width description	Hourly capacity (PCE/hr)
1	Unsealed natural surface	400
2	Unsealed formed road	400
3	Paved < 4.5 m	500
4	Paved >= 4.5 m	700
5	Narrow seal <= 4.5 m	1500
6	Narrow seal 4.6 m-5.2 m	2000
7	2 lane seal 5.3 m-5.8 m	2300
8	2 lane seal 5.9 m-6.4 m	2350
9	2 lane seal 6.5 m-7.0 m	2450
10	2 lane seal 7.1 m-7.6 m	2500
11	2 lane plus shoulder seal 7.7 m-8.2 m	2525
12	2 lane plus shoulder seal 8.3 m-9.0 m	2550
13	2 lane plus shoulder seal 9.1 m-9.4 m	2550
14	2 lane plus shoulder seal 9.5 m-10 m	2565
15	2 lane plus shoulder seal 10.1 m-11.6 m	2575
16	3 lane for overtaking	4000
17	4 lane undivided sealed	7120
18	6 lane undivided sealed	12000
19	4 lane divided sealed	8000
20	6 lane divided sealed	12000
21	4 lane divided (limited access)	8000
22	6 lane divided (limited access)	12000
23	8 lane divided (limited access)	16000

Road type	Capacity factor
National highway	10
Urban single carriageway	10
Urban dual carriageway	12.5
Rural single carriageway	8.33
Rural dual carriageway	10

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	90	89	75	63	52.7

$$Free\ speed\ (VT) = 1 / \sum_i (Grade\%_i / Free\ Speed\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS))$$

Free speed (VT) = 8.10

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.97	0.98	0.99	1	1

$$FSRG_i = \sum_j Roughness\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS) \times Grade\%$$

FSRG1 = 9.13

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91

FSRG2 = 7.15

$$NRM = 26.49 \times IRI - 1.27$$

CNRM = 211 210.65 8.00

NRMA = 250.00

NRMA1 = 110.00

$$PCSpdF = \max \left\{ \begin{array}{l} FSRG1 - (FSRG1 - FSRG2) \times \frac{(CNRM - NRMA1)}{(NRMA - NRMA1)} \\ FSRG2 \end{array} \right.$$

PCSpdF = 7.71

Vehicle type	Road type	Straight grad					Curvy grad					Vicinity grad				
		0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
Cars - commercial	≤ 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Non-Articulated	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Buses	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Articulated	≤ 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
Cars - commercial	> 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Non-Articulated	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Buses	> 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
Articulated	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
Cars - commercial	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Non-Articulated	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Buses	Freeway	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
Articulated	Freeway	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 (<2%)	Grade factor 2 (4%)	Grade factor 3 (6%)	Grade factor 4 (8%)	Grade factor 5 (>10%)
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 62.44 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVCR1}) \times \left(\frac{(1 - \text{VCR})}{(1 - \text{VCRSPL})} \right)$$

OS (VT) = 50.84 km/h

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2	Fstrg2
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.91	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad = 0.222285

Factor De gal. A liter.	Diesel	S/. 9.79	S/. 2.59	soles/litro	01/12/2016
3.79	90	S/. 10.39	S/. 2.74	soles/litro	

Diesel	101.82	centavos de dólar australiano/litro
90	108.02	centavos de dólar australiano/litro

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0	
Diesel(VT) =	101.82	
Fuelcf(VT) =	108.02	

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

FCAVF = 1.071

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj) \times VT$$

Fuel Cost(VT) =	38619.73	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	38.6	c/km

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0
Oilcons(VT, OS) =	0.6
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	0.66	L/1000km
Oils(VT) =	522	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) = 0.34 c/km

TABLE 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLE 4

OS (VT) = 50.84

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.060	0.073	0.078	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.075
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.120	0.110	0.100
Articulated	0.033	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

0

TABLE 5

OS (VT) = 50.84

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)													Oil costs (c/L)	Pdies
	Operating speed														
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h		
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70
Articulated	1.08	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.50	1.63	488.00	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00

TREAD COST

NoTyre =	4
CTYRE =	121
CRETR =	66
RETN =	0
TREADN =	6.71
TREADR =	5.87

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	7.21	c/0.001mm
-----------------	------	-----------

TyreK(VT) =	201.9
OS(VT) =	50.8
TyreWC1 =	0.00000
TyreWC2 =	0.42780

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	223.65	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1.7

$$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$$

Cong(VT) =	0.96
------------	------

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.1	0.2	0.4	0.6
Factor de ajuste por pendiente =					1.931

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0%	0%	10%	30%	60%
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0

Factor de ajuste por pendiente =	6.5
----------------------------------	-----

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre	Ctyre#	Cretr#	Retn	Treadn	Treadr	Tyre wc1	Tyre wc2	Tyre k	Tcong ^a
	Number of tyres (excl. Spares)	Costs of new tyres (\$)	Cost of retreads (\$)	Average number of retreads per tyre	Thickness of tread for new tyre	Thickness of tread for retreaded tyre	Formula factor 1	Formula factor 2	State of tune factor	Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.0	141.2	1.4	9.27	8.50	0.00652	0.08556	305.54	1
Buses	8	309.0	141.2	1.75	9.53	8.92	0.00615	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	30%	60%
Very curvy	0%	0%	60%	20%	20%

Factor de ajuste por rugosidad = 0.16

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) = 17022.61 c/1000 km
 Tyres(VT) = 17.02 c/km

Reparación y mantenimiento

RMUC = 4.5

Rugosidad 210.65

$$rscmrf(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + \frac{(PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \cdot (CNRM - 50)}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + \frac{(PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \cdot (CNRM - 100)}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + \frac{(PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \cdot (CNRM - 150)}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + \frac{(PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \cdot (CNRM - 200)}{250 - 200} \end{cases}$$

200	210.65	250
2	2.1065	2.5

rscmrf = 2.1065

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmrf(VT)$$

REPMCS = 9.48 c/km

VEHICLESS(VT) =	24410
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	121
NoTyre(VT) =	4

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV = 23780.61

DDPN(VT) = 0.22

TABLA 9

OS (VT) = 50.84

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	8.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/farmed	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

TABLA 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/ year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2033
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

Surface type	Depsrif Factor relating distance depreciation to road surface type
Unsurfaced	2.5
Primerseal	1.5
Sealed	1
Concrete	1

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	5.23
--------------	------

TDI(VT) =	9.5
FLEET(VT) =	0
AHOUR(VT) =	1000

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	0.00
--------------	------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	50.84
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	7.85	c/km
--------------	------	------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	73.31	c/km
-----------	-------	------

UnitVOC =	1.86	soles/km
-----------	------	----------

TABLA 12

Vehicyletype	Tax	Vehicles	Ddgn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	85.7	83.3	75	63	52.7

$$\text{Free speed (VT)} = 7.89$$

$$\text{Free speed (VT)} = 1 / \sum_i (\text{Grade}\%_i / \text{Free Speed Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)})$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.97	0.98	0.99	1	1

$$\text{FSRG1} = 9.13$$

$$\text{FSRG}_i = \sum_i \text{Roughness Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)} \times \text{Grade}\%$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92

$$\text{FSRG2} = 7.29$$

$$\text{NRM} = 26.49 \times \text{IRI} - 1.27$$

$$\text{CNRM} = 210.65 \quad 210.65 \quad 8$$

$$\text{NRMA} = 250.00$$

$$\text{NRMA1} = 110.00$$

$$\text{PCSpdF} = \text{Max} \begin{cases} \text{FSRG1} - (\text{FSRG1} - \text{FSRG2}) \times \frac{(\text{CNRM} - \text{NRMA1})}{(\text{NRMA} - \text{NRMA1})} \\ \text{FSRG2} \end{cases}$$

$$\text{PCSpdF} = 7.81$$

TABLA 1

Vehicle type	Road type	Straight grad					Curvy grad					Vicinity grad				
		0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
Cars - commercial	≤ 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Non-Articulated	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Buses	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Articulated	≤ 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
Cars - commercial	> 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Non-Articulated	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Buses	> 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
Articulated	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
Cars - commercial	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Non-Articulated	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Buses	Freeway	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
Articulated	Freeway	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

TABLA 2

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 <2%	Grade factor 2 <4%	Grade factor 3 <6%	Grade factor 4 <8%	Grade factor 5 <10%
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 61.63 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVVCR1}) \times \left(\frac{(1 - \text{VCR})}{(1 - \text{VCRSPL})} \right)$$

OS (VT) = 50.45 km/h

Table 6: FSRG1 – Pavement speed condition factor at 110 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy					
		flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	
		Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	1
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	1
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1	1
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	1
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	1
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	1
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	1
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	1
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	1
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	1
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	1	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	1
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	1
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	1
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	1
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	1
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	1

Table 7: FSRG2 – Pavement speed condition factor at 250 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy					
		flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	
		Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94	0.94
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94	0.94
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95	0.95
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97	0.97
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97	0.97
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	0.97
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	0.97
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	0.97
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93	0.93
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.91	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93	0.93
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95	0.95
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97	0.97
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97	0.97
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	0.97
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	0.97
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	0.97

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.215
----------------------------------	-------

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0	
Diesel(VT) =	101.82	c/litro

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

Fuelcf(VT) =	108.0193791
FCAVF =	1.071

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj) \times VT$$

Fuel Cost(VT) =	46303	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	46.30	c/km

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0
Oilcons(VT, OS) =	0.6
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	0.66	L/1000km
Oils(VT) =	511	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) =	0.34	c/km
---------------	------	------

TABLA 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLA 4

OS (VT) = 50.45

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.060	0.073	0.073	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.073
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.120	0.110	0.100
Articulated	0.033	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

TABLA 5

OS (VT) = 50.45

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)												Oil costs (c/L)	Pdies	
	Operating speed														
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h			104-112km/h
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70
Articulated	1.88	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.63	488.00	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00

TREAD COST

NoTyre =	4
CTYRE =	136.33
CRETR =	84.67
RETN =	0
TREADN =	7.22
TREADR =	6.32

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	7.55	c/0.001mm
-----------------	------	-----------

TyreK(VT) =	201.9
OS(VT) =	50.4
TyreWC1 =	0.00
TyreWC2 =	0.42780

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	223.48	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1.7

$$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$$

Cong(VT) =	0.961
------------	-------

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.14	0.27	0.54	0.81
Factor de ajuste por pendiente =					2.621

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0
Factor de ajuste por rugosidad =					6.500

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.160
----------------------------------	-------

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre	Ctyre#	Cretr#	Retn	Treadn	Treadr	Tyre wc1	Tyre wc2	Tyre k	Tcong ⁿ
	Number of tyres (excl. Spares)	Costs of new tyres (\$)	Cost of retreads (\$)	Average number of retreads per tyre	Thickness of tread for new tyre	Thickness of tread for retreaded tyre	Formula factor 1	Formula factor 2	State of tune factor	Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.8	141.2	1.4	9.27	0.58	0.00652	0.00556	305.54	1
Buses	8	309.8	141.2	1.75	9.53	0.92	0.00815	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	30%	60%
Very curvy	0%	0%	80%	20%	20%

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) =	18975.26	c/1000 km c/km
Tyres(VT) =	18.98	

TABLA 9

OS (VT) = 50.45

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Reparación y mantenimiento

RMUC =	4.6
Rugosidad	210.65

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	16.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

$$rscmr(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + (PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \frac{CNRM - 50}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + (PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \frac{CNRM - 100}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + (PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \frac{CNRM - 150}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + (PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \frac{CNRM - 200}{250 - 200} \end{cases}$$

200	210.650	250
2	2.107	2.5

rscmr =	2.1065
---------	--------

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/formed	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmr(VT)$$

REPMCS =	9.69	c/km
----------	------	------

VEHICLESS(VT) =	29890
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	136.33
NoTyre(VT) =	4

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV =	29178.49
-------	----------

TABLA 12

Vehicle type	Tax	Vehicles	Ddpn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	28,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

DDPN(VT) =	0.25
------------	------

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	7.29
--------------	------

TDI(VT) =	9.2
FLEET(VT) =	0
AHOUR(VT) =	1200

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	0.00
--------------	------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	50.45
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	10.94
--------------	-------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	86.25
-----------	-------

c/km

UnitVOC =	2.19
-----------	------

soles/km

Surface type	Depsr
Factor relating distance depreciation to road surface type	
Unsurfaced	2.5
Primerseal	1.5
Sealed	1
Concrete	1

TABLE 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/ year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	28,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,090	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2033
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	79.8	67.2	55	44.2	36

$$\text{Free speed (VT)} = 6.04$$

$$\text{Free speed (VT)} = 1 / \sum_i (\text{Grade}\%_i / \text{Free Speed Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)})$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.96	0.97	0.98	0.99	1

$$\text{FSRG1} = 9.04$$

$$\text{FSRG}_i = \sum_i \text{Roughness Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)} \times \text{Grade}\%$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95

$$\text{FSRG2} = 7.55$$

$$\text{NRM} = 26.49 \times \text{IRI} - 1.27$$

$$\text{CNRM} = 210.65$$

210.65 8.00

$$\text{NRMA} = 250.00$$

$$\text{NRMA1} = 110.00$$

$$\text{PCSpdF} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \text{FSRG1} - (\text{FSRG1} - \text{FSRG2}) \times \frac{(\text{CNRM} - \text{NRMA1})}{(\text{NRMA} - \text{NRMA1})} \\ \text{FSRG2} \end{array} \right.$$

$$\text{PCSpdF} = 7.97$$

Vehicle type	Road type	Straight grad					Curvy grad					Vicinity grad				
		0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
	> 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Cars - commercial	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
	> 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Non-Articulated	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
	> 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
Buses	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	≤ 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
	> 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Cars - commercial	≤ 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Non-Articulated	≤ 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
Buses	≤ 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
B-double	≤ 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Cars - commercial	≤ 4.5 m	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
	> 4.5 m	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Non-Articulated	≤ 4.5 m	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
	> 4.5 m	110	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
Buses	≤ 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
B-double	≤ 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 (<2%)	Grade factor 2 (<4%)	Grade factor 3 (<6%)	Grade factor 4 (<8%)	Grade factor 5 (<10%)
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 48.18 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVVCR1}) \times \left(\frac{1 - \text{VCR}}{1 - \text{VCRSPL}} \right)$$

OS (VT) = 43.95 km/h

Table 6: FSRG1 – Pavement speed condition factor at 110 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	1	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1

Table 7: FSRG2 – Pavement speed condition factor at 250 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.91	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.283605
----------------------------------	----------

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0.5	
Diesel(VT) =	101.82	c/litro
Fuelcf(VT) =	104.92	

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

FCAVF =	1.1
---------	-----

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj) \times VT$$

Fuel Cost(VT) =	114523	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	114.52	c/km

TABLE 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLE 4

OS (VT) =	43.95
-----------	-------

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.068	0.073	0.078	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.073
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.110	0.110	0.100
Articulated	0.053	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

TABLE 5

OS (VT) =	43.95
-----------	-------

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)											Oil costs (c/d)	Pdies			
	Operating speed															
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h			
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50	
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70	
Articulated	1.88	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.63	488.00	0.90	
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00	
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00	
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00	

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0.5
Oilcons(VT, OS) =	0.96
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	1.32	L/1000km
Oils(VT) =	488	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) =	0.64	c/km
---------------	------	------

TREAD COST

NoTyre =	7
CTYRE =	309.8
CRETR =	141.2
RETN =	1.4
TREADN =	9.27
TREADR =	8.58

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	16.69	c/0.001mm
-----------------	-------	-----------

TyreK(VT) =	305.54
OS(VT) =	44.0
TyreWC1 =	0.00652
TyreWC2 =	0.08556

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	321.90	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1
$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$	
Cong(VT) =	0.565

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.14	0.27	0.54	0.81
Factor de ajuste por pendiente =					2.6207

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0

Factor de ajuste por pendiente =	6.5
----------------------------------	-----

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.31
----------------------------------	------

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre Number of tyres (excl. Spares)	Ctyre# Costs of new tyres (\$)	Cretr# Cost of retreads (\$)	Retn Average number of retreads per tyre	Treadn Thickness of tread for new tyre	Treadr Thickness of tread for retreaded tyre	Tyre wc1 Formula factor 1	Tyre wc2 Formula factor 2	Tyre k State of tune factor	Tcong ⁿ Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.0	141.2	1.4	9.27	8.50	0.00652	0.08556	305.54	1
Buses	8	309.0	141.2	1.75	9.53	8.92	0.00615	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	50%	60%
Very curvy	0%	0%	60%	20%	20%

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) =	59081.8435	c/1000 km
Tyres(VT) =	59.08	c/km

TABLA 9

OS (VT) = 43.95

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Reparación y mantenimiento

RMUC =	8.6
Rugosidad	210.65

200	210.65	250
2	2.1065	2.5

$$rscmrf(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + \frac{(PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \cdot CNRM - 50}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + \frac{(PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \cdot CNRM - 100}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + \frac{(PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \cdot CNRM - 150}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + \frac{(PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \cdot CNRM - 200}{250 - 200} \end{cases}$$

rscmrf =	2.1065
----------	--------

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmrf(VT)$$

REPMCS =	18.12	c/km
----------	-------	------

VEHICLESS(VT) =	101450
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	309.8
NoTyre(VT) =	7

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV =	98870.25
-------	----------

DDPN(VT) =	0.28
------------	------

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	8.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/formed	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

TABLA 12

Vehicle type	Tax	Vehicles	Ddpn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours / year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	27.68
--------------	-------

TDI(VT) =	7.4
FLEET(VT) =	0.8
AHOUR(VT) =	1760

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	332.56
--------------	--------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	43.95
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	49.09
--------------	-------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	241.46
-----------	--------

c/km

UnitVOC =	6.13
-----------	------

soles/km

Surface type	Factor relating distance depreciation to road surface type	Depsrif
Unsurfaced		2.5
Primeiseal		1.5
Sealed		1
Concrete		1

TABLE 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

VCR

Tipo de Vehículo	# de vehic.	2.0	2.8	1.8	1.6	1.09
		flat	4%	6%	8%	10%
Cars-private	228	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Cars-commercial	12	1.0667	1.1667	1.3330	1.6667	2.0000
Non-Articulated	65	1.4000	2.1000	2.8000	4.2000	5.2222
Buses	0	1.7000	3.0000	4.0000	6.0000	7.0000
Articulated	0	2.4000	4.8000	7.2000	9.6000	12.0000
B-double		4.1000	8.1000	12.2000	16.2000	20.3000
Road train 1		4.9500	9.8500	14.8500	19.7500	24.7000
Road train 2		8.8000	17.6000	26.5000	35.3000	44.1000

Tipo de Vehículo	# de vehic.	flat	4%	6%	8%	10%
Cars-private	228	2	2.77	1.8	1.6	1.09
Cars-commercial	12	2.13	3.23	2.40	2.66672	2.18
Non-Articulated	65	2.8	5.817	5.04	6.72	5.692198
Buses	0	3.4	8.31	7.2	9.6	7.63
Articulated	0	4.8	13.296	12.96	15.36	13.08
B-double	0	8.2	22.437	21.96	25.92	22.127
Road train 1	0	9.9	27.2845	26.73	31.6	26.923
Road train 2	0	17.6	48.752	47.7	56.48	48.069

$$Volume = \sum_i AADT_i \times PCE_i$$

Volume = 3957

Hourly Capacity	700.00
Capacity Factor	10.00%

$$Capacity = \frac{Hourly Capacity}{Capacity Factor \%}$$

Capacity = 7000.00

$$VCR = \frac{Volume}{Capacity}$$

VCR = 0.5653

Vehicle type	Flat	Grade 4%	Grade 6%	Grade 8%	Grade 10%
Cars-private	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Cars-commercial	1.0667	1.1667	1.3333	1.6667	2.0000
Non-Articulated	1.4000	2.1000	2.8000	4.2000	5.2222
Buses	1.7000	3.0000	4.0000	6.0000	7.0000
Articulated	2.4000	4.8000	7.2000	9.6000	12.0000
B-double	4.1000	8.1000	12.2000	16.2000	20.3000
Road train 1	4.9500	9.8500	14.8500	19.7500	24.7000
Road train 2	8.8000	17.6000	26.5000	35.3000	44.1000

MRS	Road width description	Hourly capacity (PCE/hr)
1	Unsealed natural surface	400
2	Unsealed formed road	400
3	Paved < 4.5 m	500
4	Paved >= 4.5 m	700
5	Narrow seal <= 4.5 m	1500
6	Narrow seal 4.6 m-5.2 m	2000
7	2 lane seal 5.3 m-5.8 m	2300
8	2 lane seal 5.9 m-6.4 m	2350
9	2 lane seal 6.5 m-7.0 m	2450
10	2 lane seal 7.1 m-7.6 m	2500
11	2 lane plus shoulder seal 7.7 m-8.2 m	2525
12	2 lane plus shoulder seal 8.3 m-9.0 m	2550
13	2 lane plus shoulder seal 9.1 m-9.4 m	2550
14	2 lane plus shoulder seal 9.5 m-10 m	2565
15	2 lane plus shoulder seal 10.1 m-11.6 m	2575
16	3 lane for overtaking	4000
17	4 lane undivided sealed	7120
18	6 lane undivided sealed	12000
19	4 lane divided sealed	8000
20	6 lane divided sealed	12000
21	4 lane divided (limited access)	8000
22	6 lane divided (limited access)	12000
23	8 lane divided (limited access)	16000

Road type	Capacity factor
National highway	10
Urban single carriageway	10
Urban dual carriageway	12.5
Rural single carriageway	8.33
Rural dual carriageway	10

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	90	89	75	63	52.7

$$Free\ speed\ (VT) = 1 / \sum_i (Grade\%_i / Free\ Speed\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS))$$

Free speed (VT) = 8.10

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.97	0.98	0.99	1	1

$$FSRG_i = \sum_j Roughness\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS) \times Grade\%$$

FSRG1 = 9.13

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91

FSRG2 = 7.15

$$NRM = 26.49 \times IRI - 1.27$$

CNRM = 264 263.63 10.00

NRMA = 250.00

NRMA1 = 110.00

$$PCSpdF = \max \left\{ \begin{array}{l} FSRG1 - (FSRG1 - FSRG2) \times \frac{(CNRM - NRMA1)}{(NRMA - NRMA1)} \\ FSRG2 \end{array} \right.$$

PCSpdF = 7.15

Vehicle type	Road type	Straight grad					Curvy grad					Vicinity grad				
		0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
Cars - commercial	≤ 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Non-Articulated	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Buses	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Articulated	≤ 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
Cars - commercial	> 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Non-Articulated	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Buses	> 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
Articulated	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
Cars - commercial	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Non-Articulated	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Buses	Freeway	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
Articulated	Freeway	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 (≤2%)	Grade factor 2 (4%)	Grade factor 3 (6%)	Grade factor 4 (8%)	Grade factor 5 (≥10%)
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 57.95 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVVCR1}) \times \left(\frac{(1 - \text{VCR})}{(1 - \text{VCRSPL})} \right)$$

OS (VT) = 48.67 km/h

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg6	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg6	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg6
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.91	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad = 0.222285

Factor De gal. A liter.	Diesel	S/. 9.79	S/. 2.59	soles/litro	01/12/2016
3.79	90	S/. 10.39	S/. 2.74	soles/litro	

Diesel	101.82	centavos de dólar australiano/litro
90	108.02	centavos de dólar australiano/litro

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0	
Diesel(VT) =	101.82	
Fuelcf(VT) =	108.02	

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

FCAVF = 1.071

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj) \times VT$$

Fuel Cost(VT) =	38701.71	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	38.7	c/km

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0
Oilcons(VT, OS) =	0.6
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	0.66	L/1000km
Oils(VT) =	522	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) =	0.34	c/km
---------------	------	------

TABLE 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLE 4

OS (VT) = 48.67

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.060	0.073	0.078	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.075
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.120	0.110	0.100
Articulated	0.033	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

0

TABLE 5

OS (VT) = 48.67

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)													Oil costs (c/L)	Pdies
	Operating speed														
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h		
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70
Articulated	1.08	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.50	1.63	488.00	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00

TREAD COST

NoTyre =	4
CTYRE =	121
CRETR =	66
RETN =	0
TREADN =	6.71
TREADR =	5.87

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	7.21	c/0.001mm
-----------------	------	-----------

TyreK(VT) =	201.9
OS(VT) =	48.7
TyreWC1 =	0.00000
TyreWC2 =	0.42780

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	222.72	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1.7

$$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$$

Cong(VT) =	0.96
------------	------

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.1	0.2	0.4	0.6
Factor de ajuste por pendiente =					1.931

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0%	0%	10%	30%	60%
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0

Factor de ajuste por pendiente =	6.5
----------------------------------	-----

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre	Ctyre#	Cretr#	Retn	Treadn	Treadr	Tyre wc1	Tyre wc2	Tyre k	Tcong ^a
	Number of tyres (excl. Spares)	Costs of new tyres (\$)	Cost of retreads (\$)	Average number of retreads per tyre	Thickness of tread for new tyre	Thickness of tread for retreaded tyre	Formula factor 1	Formula factor 2	State of tune factor	Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.0	141.2	1.4	9.27	8.50	0.00652	0.08556	305.54	1
Buses	8	309.0	141.2	1.75	9.53	8.92	0.00615	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	30%	60%
Very curvy	0%	0%	60%	20%	20%

Factor de ajuste por rugosidad = 0.16

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) = 16951.90 c/1000 km
 Tyres(VT) = 16.95 c/km

TABLA 9

OS (VT) = 48.67

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.20	0.20	0.20	0.20	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Reparación y mantenimiento

RMUC = 4.5

Rugosidad = 263.63

$$rscmrf(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + \frac{(PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \cdot (CNRM - 50)}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + \frac{(PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \cdot (CNRM - 100)}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + \frac{(PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \cdot (CNRM - 150)}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + \frac{(PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \cdot (CNRM - 200)}{250 - 200} \end{cases}$$

200	263.63	250
2	2.6363	2.5

rscmrf = 2.6363

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmrf(VT)$$

REPMCS = 11.86 c/km

VEHICLESS(VT) =	24410
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	121
NoTyre(VT) =	4

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV = 23780.61

DDPN(VT) = 0.22

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	0.6
Buses	0.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/farmed	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

TABLA 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,090	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2033
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

Surface type	Depsrif Factor relating distance depreciation to road surface type
Unsurfaced	2.5
Primerseal	1.5
Sealed	1
Concrete	1

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	5.23
--------------	------

TDI(VT) =	9.5
FLEET(VT) =	0
AHOUR(VT) =	1000

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	0.00
--------------	------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	48.67
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT)=	7.85	c/km
-------------	------	------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	75.71	c/km
-----------	-------	------

UnitVOC =	1.92	soles/km
-----------	------	----------

TABLA 12

Vehicle type	Tax	Vehicles	Ddgn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	85.7	83.3	75	63	52.7

$$\text{Free speed (VT)} = 7.89$$

$$\text{Free speed (VT)} = 1 / \sum_i (\text{Grade}\%_i / \text{Free Speed Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)})$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.97	0.98	0.99	1	1

$$\text{FSRG1} = 9.13$$

$$\text{FSRG}_i = \sum_i \text{Roughness Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)} \times \text{Grade}\%$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92

$$\text{FSRG2} = 7.29$$

$$\text{NRM} = 26.49 \times \text{IRI} - 1.27$$

$$\text{CNRM} = 263.63$$

$$\text{NRMA} = 250.00$$

$$\text{NRMA1} = 110.00$$

$$\text{PCSpdF} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \text{FSRG1} - (\text{FSRG1} - \text{FSRG2}) \times \frac{(\text{CNRM} - \text{NRMA1})}{(\text{NRMA} - \text{NRMA1})} \\ \text{FSRG2} \end{array} \right.$$

$$\text{PCSpdF} = 7.29$$

TABLA 1

Vehicle type	Road type	Straight grad					Curvy grad					Vicinity grad				
		0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
Cars - commercial	≤ 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Non-Articulated	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Buses	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Articulated	≤ 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
Cars - commercial	> 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Non-Articulated	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Buses	> 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
Articulated	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
Cars - commercial	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Non-Articulated	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Buses	Freeway	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
Articulated	Freeway	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

TABLA 2

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 <2%	Grade factor 2 <4%	Grade factor 3 <6%	Grade factor 4 <8%	Grade factor 5 <10%
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 57.56 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVCR1}) \times \left(\frac{(1 - \text{VCR})}{(1 - \text{VCRSPL})} \right)$$

OS (VT) = 48.48 km/h

Table 6: FSRG1 – Pavement speed condition factor at 110 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy					
		flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	
		Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	1	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	

Table 7: FSRG2 – Pavement speed condition factor at 250 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy					
		flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	
		Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94	
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94	
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95	
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97	
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97	
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93	
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.93	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93	
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95	
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97	
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97	
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.215
----------------------------------	-------

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0	
Diesel(VT) =	101.82	c/litro

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

Fuelcf(VT) =	108.0193791
FCAVF =	1.071

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj) \times VT$$

Fuel Cost(VT) =	45993	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	45.99	c/km

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0
Oilcons(VT, OS) =	0.6
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	0.66	L/1000km
Oils(VT) =	511	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) =	0.34	c/km
---------------	------	------

TABLA 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLA 4

OS (VT) = 48.48

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.060	0.073	0.073	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.073
Non-Articulated	0.044	0.053	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.120	0.110	0.100
Articulated	0.033	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

TABLA 5

OS (VT) = 48.48

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)												Oil costs (c/L)	Pdies	
	Operating speed														
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h			104-112km/h
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70
Articulated	1.88	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.63	488.00	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00

TREAD COST

NoTyre =	4
CTYRE =	136.33
CRETR =	84.67
RETN =	0
TREADN =	7.22
TREADR =	6.32

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	7.55	c/0.001mm
-----------------	------	-----------

Tyrek(VT) =	201.9
OS(VT) =	48.5
TyreWC1 =	0.00
TyreWC2 =	0.42780

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	222.64	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1.7

$$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$$

Cong(VT) =	0.961
------------	-------

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.14	0.27	0.54	0.81
Factor de ajuste por pendiente =					2.621

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0
Factor de ajuste por rugosidad =					6.500

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.160
----------------------------------	-------

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre	Ctyre#	Cretr#	Retn	Treadn	Treadr	Tyre wc1	Tyre wc2	Tyre k	Tcong ⁿ
	Number of tyres (excl. Spares)	Costs of new tyres (\$)	Cost of retreads (\$)	Average number of retreads per tyre	Thickness of tread for new tyre	Thickness of tread for retreaded tyre	Formula factor 1	Formula factor 2	State of tune factor	Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.8	141.2	1.4	9.27	0.58	0.00652	0.08556	305.54	1
Buses	8	309.8	141.2	1.75	9.53	0.92	0.00815	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	30%	60%
Very curvy	0%	0%	80%	20%	20%

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) =	18903.79	c/1000 km
Tyres(VT) =	18.90	

TABLA 9

OS (VT) = 48.48

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Reparación y mantenimiento

RMUC =	4.6
Rugosidad	263.63

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	16.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

$$rscmr(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + (PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \frac{CNRM - 50}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + (PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \frac{CNRM - 100}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + (PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \frac{CNRM - 150}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + (PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \frac{CNRM - 200}{250 - 200} \end{cases}$$

200	263.630	250
2	2.636	2.5

rscmr =	2.6363
---------	--------

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/formed	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmr(VT)$$

REPMCS =	12.13	c/km
----------	-------	------

VEHICLESS(VT) =	29890
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	136.33
NoTyre(VT) =	4

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV =	29178.49
-------	----------

TABLA 12

Vehicle type	Tax	Vehicles	Ddpn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	28,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

DDPN(VT) =	0.25
------------	------

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	7.29
--------------	------

TDI(VT) =	9.2
FLEET(VT) =	0
AHOUR(VT) =	1200

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	0.00
--------------	------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	48.48
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	10.94
--------------	-------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	88.30
-----------	-------

c/km

UnitVOC =	2.24
-----------	------

soles/km

Surface type	Depsr
Factor relating distance depreciation to road surface type	
Unsurfaced	2.5
Primerseal	1.5
Sealed	1
Concrete	1

TABLA 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/ year vehicle is available on the road
Cars – private	10%	28,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars – commercial	10%	29,090	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2033
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	79.8	67.2	55	44.2	36

$$\text{Free speed (VT)} = 6.04$$

$$\text{Free speed (VT)} = 1 / \sum_i (\text{Grade}\%_i / \text{Free Speed Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)})$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.96	0.97	0.98	0.99	1

$$\text{FSRG1} = 9.04$$

$$\text{FSRG}_i = \sum_i \text{Roughness Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)} \times \text{Grade}\%$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95

$$\text{FSRG2} = 7.55$$

$$\text{NRM} = 26.49 \times \text{IRI} - 1.27$$

$$\text{CNRM} = 263.63$$

263.63 10.00

$$\text{NRMA} = 250.00$$

$$\text{NRMA1} = 110.00$$

$$\text{PCSpdF} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \text{FSRG1} - (\text{FSRG1} - \text{FSRG2}) \times \frac{(\text{CNRM} - \text{NRMA1})}{(\text{NRMA} - \text{NRMA1})} \\ \text{FSRG2} \end{array} \right.$$

$$\text{PCSpdF} = 7.55$$

Vehicle type	Road type	Straight grad 0-2%	Straight grad 4%	Straight grad 6%	Straight grad 8%	Straight grad 10%	Curvy grad 0-2%	Curvy grad 4%	Curvy grad 6%	Curvy grad 8%	Curvy grad 10%	Vicinity grad 0-2%	Vicinity grad 4%	Vicinity grad 6%	Vicinity grad 8%	Vicinity grad 10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
	> 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Cars - commercial	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
	> 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Non-Articulated	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
	> 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Buses	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Articulated	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
	≤ 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Cars - commercial	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
	≤ 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Non-Articulated	> 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
	≤ 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
Buses	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
	≤ 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
Articulated	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	≤ 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	≤ 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	≤ 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	≤ 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
	Other	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Cars - commercial	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
	Other	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Non-Articulated	Freeway	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
	Other	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
Buses	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	Other	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Articulated	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	Other	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
B-double	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	Other	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	Other	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	Other	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 (<2%)	Grade factor 2 (<4%)	Grade factor 3 (<6%)	Grade factor 4 (<8%)	Grade factor 5 (<10%)
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 45.65 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVVCR1}) \times \left(\frac{1 - \text{VCR}}{1 - \text{VCRSPL}} \right)$$

OS (VT) = 42.73 km/h

Table 6: FSRG1 – Pavement speed condition factor at 110 NRM

Vehicle type	Road type	Straight flat					Curvy flat					V/curvy flat				
		Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	1	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1

Table 7: FSRG2 – Pavement speed condition factor at 250 NRM

Vehicle type	Road type	Straight flat					Curvy flat					V/curvy flat				
		Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.91	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.283605
----------------------------------	----------

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0.5	
Diesel(VT) =	101.82	c/litro
Fuelcf(VT) =	104.92	

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

FCAVF =	1.1
---------	-----

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj) \times VT$$

Fuel Cost(VT) =	114936	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	114.94	c/km

TABLE 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLE 4

OS (VT) =	42.73
-----------	-------

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.068	0.073	0.078	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.073
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.110	0.110	0.100
Articulated	0.053	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

TABLE 5

OS (VT) =	42.73
-----------	-------

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)											Oil costs (c/d)	Pdies		
	Operating speed														
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h		
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70
Articulated	1.88	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.63	488.00	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0.5
Oilcons(VT, OS) =	0.96
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	1.32	L/1000km
Oils(VT) =	488	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) =	0.64	c/km
---------------	------	------

TREAD COST

NoTyre =	7
CTYRE =	309.8
CRETR =	141.2
RETN =	1.4
TREADN =	9.27
TREADR =	8.58

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	16.69	c/0.001mm
-----------------	-------	-----------

TyreK(VT) =	305.54
OS(VT) =	42.7
TyreWC1 =	0.00652
TyreWC2 =	0.08556

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	321.10	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1
$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$	
Cong(VT) =	0.565

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.14	0.27	0.54	0.81
Factor de ajuste por pendiente =					2.6207

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0
Factor de ajuste por pendiente =					6.5

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

Factor de ajuste por rugosidad =					0.31
----------------------------------	--	--	--	--	------

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre Number of tyres (excl. Spares)	Ctyre# Costs of new tyres (\$)	Cretr# Cost of retreads (\$)	Retn Average number of retreads per tyre	Treadn Thickness of tread for new tyre	Treadr Thickness of tread for retreaded tyre	Tyre wc1 Formula factor 1	Tyre wc2 Formula factor 2	Tyre k State of tune factor	Tcong ⁿ Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.0	141.2	1.4	9.27	8.50	0.00652	0.08556	305.54	1
Buses	8	309.0	141.2	1.75	9.53	8.92	0.00615	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	30%	60%
Very curvy	0%	0%	60%	20%	20%

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) =	58935.80758	c/1000 km
Tyres(VT) =	58.94	c/km

TABLA 9

OS (VT) = 42.73

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Reparación y mantenimiento

RMUC =	8.6
Rugosidad	263.63

200	263.63	250
2	2.6363	2.5

$$rscmrf(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + (PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \frac{CNRM - 50}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + (PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \frac{CNRM - 100}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + (PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \frac{CNRM - 150}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + (PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \frac{CNRM - 200}{250 - 200} \end{cases}$$

rscmrf =	2.6363
----------	--------

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmrf(VT)$$

REPMCS =	22.67	c/km
----------	-------	------

VEHICLESS(VT) =	101450
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	309.8
NoTyre(VT) =	7

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV =	98870.25
-------	----------

DDPN(VT) =	0.28
------------	------

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	8.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/formed	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

TABLA 12

Vehicle type	Tax	Vehicles	Ddpn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours / year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	27.68
--------------	-------

TDI(VT) =	7.4
FLEET(VT) =	0.8
AHOUR(VT) =	1760

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	332.56
--------------	--------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	42.73
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	49.31
--------------	-------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	246.50
-----------	--------

c/km

UnitVOC =	6.26
-----------	------

soles/km

Surface type	Factor relating distance depreciation to road surface type	Depsrif
Unsurfaced		2.5
Primeiseal		1.5
Sealed		1
Concrete		1

TABLE 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

VCR

Tipo de Vehículo	# de vehic.	2.0	2.8	1.8	1.6	1.09
		flat	4%	6%	8%	10%
Cars-private	228	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Cars-commercial	12	1.0667	1.1667	1.3330	1.6667	2.0000
Non-Articulated	65	1.4000	2.1000	2.8000	4.2000	5.2222
Buses	0	1.7000	3.0000	4.0000	6.0000	7.0000
Articulated	0	2.4000	4.8000	7.2000	9.6000	12.0000
B-double		4.1000	8.1000	12.2000	16.2000	20.3000
Road train 1		4.9500	9.8500	14.8500	19.7500	24.7000
Road train 2		8.8000	17.6000	26.5000	35.3000	44.1000

Tipo de Vehículo	# de vehic.	flat	4%	6%	8%	10%
Cars-private	228	2	2.77	1.8	1.6	1.09
Cars-commercial	12	2.13	3.23	2.40	2.66672	2.18
Non-Articulated	65	2.8	5.817	5.04	6.72	5.692198
Buses	0	3.4	8.31	7.2	9.6	7.63
Articulated	0	4.8	13.296	12.96	15.36	13.08
B-double	0	8.2	22.437	21.96	25.92	22.127
Road train 1	0	9.9	27.2845	26.73	31.6	26.923
Road train 2	0	17.6	48.752	47.7	56.48	48.069

$$Volume = \sum_i AADT_i \times PCE_i$$

Volume = 3957

Hourly Capacity	700.00
Capacity Factor	10.00%

$$Capacity = \frac{Hourly Capacity}{Capacity Factor \%}$$

Capacity = 7000.00

$$VCR = \frac{Volume}{Capacity}$$

VCR = 0.5653

Vehicle type	Flat	Grade 4%	Grade 6%	Grade 8%	Grade 10%
Cars-private	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Cars-commercial	1.0667	1.1667	1.3333	1.6667	2.0000
Non-Articulated	1.4000	2.1000	2.8000	4.2000	5.2222
Buses	1.7000	3.0000	4.0000	6.0000	7.0000
Articulated	2.4000	4.8000	7.2000	9.6000	12.0000
B-double	4.1000	8.1000	12.2000	16.2000	20.3000
Road train 1	4.9500	9.8500	14.8500	19.7500	24.7000
Road train 2	8.8000	17.6000	26.5000	35.3000	44.1000

MRS	Road width description	Hourly capacity (PCE/hr)
1	Unsealed natural surface	400
2	Unsealed formed road	400
3	Paved < 4.5 m	500
4	Paved >= 4.5 m	700
5	Narrow seal <= 4.5 m	1500
6	Narrow seal 4.6 m-5.2 m	2000
7	2 lane seal 5.3 m-5.8 m	2300
8	2 lane seal 5.9 m-6.4 m	2350
9	2 lane seal 6.5 m-7.0 m	2450
10	2 lane seal 7.1 m-7.6 m	2500
11	2 lane plus shoulder seal 7.7 m-8.2 m	2525
12	2 lane plus shoulder seal 8.3 m-9.0 m	2550
13	2 lane plus shoulder seal 9.1 m-9.4 m	2550
14	2 lane plus shoulder seal 9.5 m-10 m	2565
15	2 lane plus shoulder seal 10.1 m-11.6 m	2575
16	3 lane for overtaking	4000
17	4 lane undivided sealed	7120
18	6 lane undivided sealed	12000
19	4 lane divided sealed	8000
20	6 lane divided sealed	12000
21	4 lane divided (limited access)	8000
22	6 lane divided (limited access)	12000
23	8 lane divided (limited access)	16000

Road type	Capacity factor
National highway	10
Urban single carriageway	10
Urban dual carriageway	12.5
Rural single carriageway	8.33
Rural dual carriageway	10

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	90	89	75	63	52.7

$$Free\ speed\ (VT) = 1 / \sum_i (Grade\%_i / Free\ Speed\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS))$$

Free speed (VT) = 8.10

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.97	0.98	0.99	1	1

$$FSRG_i = \sum_j Roughness\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS) \times Grade\%$$

FSRG1 = 9.13

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91

FSRG2 = 7.15

$$NRM = 26.49 \times IRI - 1.27$$

CNRM = 317 316.61 12.00

NRMA = 250.00

NRMA1 = 110.00

$$PCSpdF = \max \left\{ \begin{array}{l} FSRG1 - (FSRG1 - FSRG2) \times \frac{(CNRM - NRMA1)}{(NRMA - NRMA1)} \\ FSRG2 \end{array} \right.$$

PCSpdF = 7.15

Vehicle type	Road type	Straight grad 0-2%					Curvy grad 0-2%					Vicinity grad 0-2%				
		Straight grad 0-2%	Straight grad 4%	Straight grad 6%	Straight grad 8%	Straight grad 10%	Curvy grad 0-2%	Curvy grad 4%	Curvy grad 6%	Curvy grad 8%	Curvy grad 10%	Vicinity grad 0-2%	Vicinity grad 4%	Vicinity grad 6%	Vicinity grad 8%	Vicinity grad 10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
Cars - commercial	≤ 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Non-Articulated	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Buses	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Articulated	≤ 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
Cars - commercial	> 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Non-Articulated	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Buses	> 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
Articulated	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
Cars - commercial	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Non-Articulated	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Buses	Freeway	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
Articulated	Freeway	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 (<2%)	Grade factor 2 (4%)	Grade factor 3 (6%)	Grade factor 4 (8%)	Grade factor 5 (>10%)
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 57.95 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVVCR1}) \times \left(\frac{(1 - \text{VCR})}{(1 - \text{VCRSPL})} \right)$$

OS (VT) = 48.67 km/h

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg1	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg6	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg6	Fstrg2	Fstrg3	Fstrg4	Fstrg5	Fstrg6
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.91	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad = 0.222285

Factor De gal. A liter.	Diesel	S/. 9.79	S/. 2.59	soles/litro	01/12/2016
3.79	90	S/. 10.39	S/. 2.74	soles/litro	

Diesel	101.82	centavos de dólar australiano/litro
90	108.02	centavos de dólar australiano/litro

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0	
Diesel(VT) =	101.82	
Fuelcf(VT) =	108.02	

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

FCAVF = 1.071

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj) \times VT$$

Fuel Cost(VT) =	38701.71	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	38.7	c/km

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0
Oilcons(VT, OS) =	0.6
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	0.66	L/1000km
Oils(VT) =	522	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) = 0.34 c/km

TABLA 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLA 4

OS (VT) = 48.67

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.060	0.073	0.078	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.075
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.120	0.110	0.100
Articulated	0.033	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

0

TABLA 5

OS (VT) = 48.67

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)													Oil costs (c/L)	Pdies
	Operating speed														
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h		
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70
Articulated	1.08	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.50	1.63	488.00	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00

TREAD COST

NoTyre =	4
CTYRE =	121
CRETR =	66
RETN =	0
TREADN =	6.71
TREADR =	5.87

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	7.21	c/0.001mm
-----------------	------	-----------

TyreK(VT) =	201.9
OS(VT) =	48.7
TyreWC1 =	0.00000
TyreWC2 =	0.42780

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	222.72	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1.7

$$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$$

Cong(VT) =	0.96
------------	------

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.1	0.2	0.4	0.6
Factor de ajuste por pendiente =					1.931

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0%	0%	10%	30%	60%
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0

Factor de ajuste por pendiente =	6.5
----------------------------------	-----

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre	Ctyre#	Cretr#	Retn	Treadn	Treadr	Tyre wc1	Tyre wc2	Tyre k	Tcong ^a
	Number of tyres (excl. Spares)	Costs of new tyres (\$)	Cost of retreads (\$)	Average number of retreads per tyre	Thickness of tread for new tyre	Thickness of tread for retreaded tyre	Formula factor 1	Formula factor 2	State of tune factor	Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.0	141.2	1.4	9.27	8.50	0.00652	0.08556	305.54	1
Buses	8	309.0	141.2	1.75	9.53	8.92	0.00615	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	30%	60%
Very curvy	0%	0%	60%	20%	20%

Factor de ajuste por rugosidad = 0.16

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) = 16951.90 c/1000 km
 Tyres(VT) = 16.95 c/km

Reparación y mantenimiento

RMUC = 4.5

Rugosidad 316.61

$$rscmrf(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + \frac{(PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \cdot CNRM - 50}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + \frac{(PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \cdot CNRM - 100}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + \frac{(PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \cdot CNRM - 150}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + \frac{(PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \cdot CNRM - 200}{250 - 200} \end{cases}$$

200	316.61	250
2	3.1661	2.5

rscmrf = 3.1661

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmrf(VT)$$

REPMCS = 14.25 c/km

VEHICLESS(VT) =	24410
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	121
NoTyre(VT) =	4

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV = 23780.61

DDPN(VT) = 0.22

TABLA 9

OS (VT) = 48.67

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	8.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/farmed	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

TABLA 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/ year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2033
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

Surface type	Depsrif Factor relating distance depreciation to road surface type
Unsurfaced	2.5
Primerseal	1.5
Sealed	1
Concrete	1

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	5.23
--------------	------

TDI(VT) =	9.5
FLEET(VT) =	0
AHOUR(VT) =	1000

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	0.00
--------------	------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	48.67
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	7.85	c/km
--------------	------	------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	78.09	c/km
-----------	-------	------

UnitVOC =	1.98	soles/km
-----------	------	----------

TABLA 12

Vehicyletype	Tax	Vehicles	Ddgn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours/ year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	85.7	83.3	75	63	52.7

Free speed (VT) = 7.89

$$Free\ speed\ (VT) = 1 / \sum_i (Grade\%_i / Free\ Speed\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS))$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.97	0.98	0.99	1	1

FSG1 = 9.13

$$FSRG_i = \sum_i Roughness\ Array\ (VT, Grade_i, HorizAlign, MRS) \times Grade\%$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92

FSG2 = 7.29

$$NRM = 26.49 \times IRI - 1.27$$

CNRM = 316.61 316.61 12

NRMA = 250.00

NRMA1 = 110.00

$$PCSpdF = \max \begin{cases} FSG1 - (FSG1 - FSG2) \times \frac{(CNRM - NRMA1)}{(NRMA - NRMA1)} \\ FSG2 \end{cases}$$

PCSpdF = 7.29

TABLA 1

Vehicle type	Road type	Straight grad					Curvy grad					Vicinity grad				
		0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
Cars - commercial	≤ 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Non-Articulated	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Buses	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
Articulated	≤ 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
Cars - commercial	> 4.5 m	99.7	95	81.3	66.3	54.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Non-Articulated	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Buses	> 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
Articulated	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
Cars - commercial	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Non-Articulated	Freeway	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Buses	Freeway	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
Articulated	Freeway	106	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
B-double	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	Freeway	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

TABLA 2

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 <2%	Grade factor 2 <4%	Grade factor 3 <6%	Grade factor 4 <8%	Grade factor 5 <10%
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 57.56 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVVCR1}) \times \left(\frac{(1 - \text{VCR})}{(1 - \text{VCRSPL})} \right)$$

OS (VT) = 48.48 km/h

Table 6: FSRG1 – Pavement speed condition factor at 110 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy					
		flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	
		Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	1	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1	

Table 7: FSRG2 – Pavement speed condition factor at 250 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy					
		flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	flat	4%	6%	8%	10%	
		Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94	
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94	
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95	
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97	
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97	
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97	
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93	
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.93	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93	
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95	
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97	
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97	
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97	

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.215
----------------------------------	-------

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0	
Diesel(VT) =	101.82	c/litro

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

Fuelcf(VT) =	108.0193791
FCAVF =	1.071

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj) \times VT$$

Fuel Cost(VT) =	45993	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	45.99	c/km

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0
Oilcons(VT, OS) =	0.6
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	0.66	L/1000km
Oils(VT) =	511	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) =	0.34	c/km
---------------	------	------

TABLA 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLA 4

OS (VT) = 48.48

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.060	0.073	0.073	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.073
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.120	0.110	0.100
Articulated	0.033	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

TABLA 5

OS (VT) = 48.48

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)												Oil costs (c/L)	Pdies	
	Operating speed														
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h			104-112km/h
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70
Articulated	1.88	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.63	488.00	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00

TREAD COST

NoTyre =	4
CTYRE =	136.33
CRETR =	84.67
RETN =	0
TREADN =	7.22
TREADR =	6.32

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	7.55	c/0.001mm
-----------------	------	-----------

Tyrek(VT) =	201.9
OS(VT) =	48.5
TyreWC1 =	0.00
TyreWC2 =	0.42780

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	222.64	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1.7

$$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$$

Cong(VT) =	0.961
------------	-------

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.14	0.27	0.54	0.81
Factor de ajuste por pendiente =					2.621

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0
Factor de ajuste por rugosidad =					6.500

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.160
----------------------------------	-------

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre	Ctyre#	Cretr#	Retn	Treadn	Treadr	Tyre wc1	Tyre wc2	Tyre k	Tcong ⁿ
	Number of tyres (excl. Spares)	Costs of new tyres (\$)	Cost of retreads (\$)	Average number of retreads per tyre	Thickness of tread for new tyre	Thickness of tread for retreaded tyre	Formula factor 1	Formula factor 2	State of tune factor	Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.8	141.2	1.4	9.27	0.58	0.00652	0.00556	305.54	1
Buses	8	309.8	141.2	1.75	9.53	0.92	0.00815	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	30%	60%
Very curvy	0%	0%	80%	20%	20%

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) =	18903.79	c/1000 km c/km
Tyres(VT) =	18.90	

TABLA 9

OS (VT) = 48.48

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Reparación y mantenimiento

RMUC =	4.6
Rugosidad	316.61

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	16.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

$$rscmr(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + \frac{(PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \cdot (CNRM - 50)}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + \frac{(PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \cdot (CNRM - 100)}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + \frac{(PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \cdot (CNRM - 150)}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + \frac{(PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \cdot (CNRM - 200)}{250 - 200} \end{cases}$$

200	316.610	250
2	3.166	2.5

rscmr =	3.1661
---------	--------

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/formed	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmr(VT)$$

REPMCS =	14.56	c/km
----------	-------	------

VEHICLESS(VT) =	29890
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	136.33
NoTyre(VT) =	4

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV =	29178.49
-------	----------

TABLA 12

Vehicle type	Tax	Vehicles	Ddpn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	28,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

DDPN(VT) =	0.25
------------	------

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	7.29
--------------	------

TDI(VT) =	9.2
FLEET(VT) =	0
AHOUR(VT) =	1200

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	0.00
--------------	------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	48.48
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	10.94
--------------	-------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	90.74
-----------	-------

c/km

UnitVOC =	2.30
-----------	------

soles/km

Surface type	Depsr
Factor relating distance depreciation to road surface type	
Unsurfaced	2.5
Primerseal	1.5
Sealed	1
Concrete	1

TABLE 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/ year vehicle is available on the road
Cars – private	10%	28,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars – commercial	10%	29,090	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2033
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

OS

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	79.8	67.2	55	44.2	36

$$\text{Free speed (VT)} = 6.04$$

$$\text{Free speed (VT)} = 1 / \sum_i (\text{Grade}\%_i / \text{Free Speed Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)})$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.96	0.97	0.98	0.99	1

$$\text{FSRG1} = 9.04$$

$$\text{FSRG}_i = \sum_i \text{Roughness Array (VT, Grade}_i, \text{HorizAlign, MRS)} \times \text{Grade}\%$$

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Porcentaje de pendiente	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95

$$\text{FSRG2} = 7.55$$

$$\text{NRM} = 26.49 \times \text{IRI} - 1.27$$

$$\text{CNRM} = 316.61$$

316.61 12.00

$$\text{NRMA} = 250.00$$

$$\text{NRMA1} = 110.00$$

$$\text{PCSpdF} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \text{FSRG1} - (\text{FSRG1} - \text{FSRG2}) \times \frac{(\text{CNRM} - \text{NRMA1})}{(\text{NRMA} - \text{NRMA1})} \\ \text{FSRG2} \end{array} \right.$$

$$\text{PCSpdF} = 7.55$$

Vehicle type	Road type	Straight grad					Curvy grad					Vicinity grad				
		0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%	0-2%	4%	6%	8%	10%
Cars - private	≤ 4.5 m	83	82	76	66	56	77	76	72	64	55	69	68	66	60	53
	> 4.5 m	82	79.3	72	61.7	52	75	73	68	59.7	51	67	65.3	62.3	56.3	49.3
Cars - commercial	≤ 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
	> 4.5 m	82.4	68.8	55.6	44.6	36	73	63.4	53.2	43.4	35.8	64.2	57.6	49.8	42.2	35.6
Non-Articulated	≤ 4.5 m	86	72	57	45	37	77	67	55	45	37	67	61	53	44	36
	> 4.5 m	86	49	39	32	24	71	45	38	32	24	59	41	36	31	24
Buses	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
B-double	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
	> 4.5 m	88	38	27	20	16	72	35	27	19	16	59	32	26	19	16
Cars - private	> 4.5 m	105	102	88	72	59	90	89	81	68	57	75	74	71	63	55
	Freeway	105	99.7	95	81.3	66.3	85.7	83.3	75	63	52.7	72	70.3	66.3	58.7	51
Cars - commercial	≤ 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
	> 4.5 m	93.8	74.2	58	45.4	36.2	79.8	67.2	55	44.2	36	67.2	60.2	51.4	42.8	35.8
Non-Articulated	≤ 4.5 m	100	78	59	46	37	85	71	57	45	37	70	63	54	44	36
	> 4.5 m	100	52	40	32	24	75	47	39	32	24	60	42	36	31	24
Buses	≤ 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
B-double	≤ 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	100	40	28	20	16	75	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Cars - private	Freeway	110	106	90	72	59	93	90	82	69	58	76	75	71	63	55
	Freeway	105	99.3	83.3	66.3	54.3	88.7	84.7	76	63.7	53.3	73	71.3	66.7	58.7	51
Cars - commercial	≤ 4.5 m	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
	> 4.5 m	99	77.2	58.8	45.4	36.2	82	68.4	55.6	44.2	36	68.6	60.8	51.6	42.8	35.8
Non-Articulated	≤ 4.5 m	110	82	60	46	37	89	73	58	46	37	72	64	54	44	37
	> 4.5 m	110	53	40	32	24	77	47	39	32	24	60	42	36	31	24
Buses	≤ 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
B-double	≤ 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 1	≤ 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
Road train 2	≤ 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16
	> 4.5 m	105	41	28	20	16	76	36	27	19	16	60	33	26	19	16

General terrain description	Percentage of each grade				
	Grade factor 1 (<2%)	Grade factor 2 (<4%)	Grade factor 3 (<6%)	Grade factor 4 (<8%)	Grade factor 5 (<10%)
Level or flat terrain	90	10	0	0	0
Rolling or undulating	50	30	20	0	0
Mountainous terrain	30	30	20	20	0

$$\text{Corr Free Speed}(VT) = \text{PCSpdF} \times \text{Free Speed}(VT)$$

Corr Free Speed(VT) = 45.65 km/h

$$\text{OS}(VT) = \text{SPVCR1} + (\text{CorrFreeSpeed}(VT) - \text{SPVVCR1}) \times \left(\frac{1 - \text{VCR}}{1 - \text{VCRSPL}} \right)$$

OS (VT) = 42.73 km/h

Table 6: FSRG1 – Pavement speed condition factor at 110 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1	Fsg1
Cars – private	< 4.5 m	0.98	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Cars – commercial	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Non-Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.98	0.98	0.99	0.99	1
Buses	< 4.5 m	0.97	0.98	0.99	1	1	0.98	0.99	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Articulated	< 4.5 m	0.95	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
B-double	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 1	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 2	< 4.5 m	0.94	0.97	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Cars – private	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Cars – commercial	> 4.5 m	0.96	0.96	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Non-Articulated	> 4.5 m	0.93	0.96	0.98	0.99	1	0.96	0.97	0.98	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1
Buses	> 4.5 m	0.95	0.98	0.99	1	1	0.97	0.98	0.99	1	1	0.99	0.99	0.99	1	1
Articulated	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
B-double	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 1	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
Road train 2	> 4.5 m	0.91	0.96	0.99	0.99	1	0.97	0.98	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1

Table 7: FSRG2 – Pavement speed condition factor at 250 NRM

Vehicle type	Road type	Straight					Curvy					V/curvy				
		Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	Fsg2	
Cars – private	< 4.5 m	0.76	0.77	0.8	0.87	0.92	0.79	0.8	0.83	0.88	0.92	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Cars – commercial	< 4.5 m	0.75	0.77	0.81	0.88	0.93	0.79	0.8	0.83	0.89	0.93	0.84	0.85	0.87	0.9	0.94
Non-Articulated	< 4.5 m	0.68	0.76	0.84	0.91	0.95	0.74	0.79	0.86	0.91	0.95	0.79	0.83	0.87	0.92	0.95
Buses	< 4.5 m	0.74	0.81	0.89	0.95	0.97	0.79	0.84	0.9	0.95	0.97	0.85	0.87	0.91	0.95	0.97
Articulated	< 4.5 m	0.61	0.78	0.87	0.93	0.97	0.71	0.82	0.89	0.94	0.97	0.81	0.87	0.91	0.94	0.97
B-double	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 1	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Road train 2	< 4.5 m	0.6	0.79	0.88	0.94	0.97	0.71	0.83	0.89	0.94	0.97	0.81	0.88	0.91	0.95	0.97
Cars – private	> 4.5 m	0.63	0.65	0.73	0.83	0.9	0.71	0.72	0.77	0.85	0.91	0.81	0.81	0.84	0.88	0.93
Cars – commercial	> 4.5 m	0.64	0.67	0.75	0.85	0.91	0.72	0.74	0.79	0.86	0.92	0.81	0.82	0.85	0.89	0.93
Non-Articulated	> 4.5 m	0.62	0.71	0.83	0.9	0.95	0.7	0.77	0.85	0.91	0.95	0.77	0.82	0.87	0.92	0.95
Buses	> 4.5 m	0.65	0.76	0.88	0.94	0.97	0.75	0.81	0.89	0.95	0.97	0.83	0.86	0.91	0.95	0.97
Articulated	> 4.5 m	0.53	0.74	0.86	0.93	0.97	0.68	0.81	0.88	0.94	0.97	0.8	0.86	0.91	0.94	0.97
B-double	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 1	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97
Road train 2	> 4.5 m	0.54	0.75	0.87	0.94	0.97	0.68	0.82	0.89	0.94	0.97	0.8	0.87	0.91	0.95	0.97

$$Rough\ Adj(VT) = FCGRVF(VT) = FCGRVF(VT) \times GCGFAC$$

Factor de ajuste por rugosidad =	0.283605
----------------------------------	----------

Petrol(VT) =	108.02	c/litro
Pdies(VT) =	0.5	
Diesel(VT) =	101.82	c/litro
Fuelcf(VT) =	104.92	

$$Fuelc(VT) = Petrol(VT) \times (1 - PDies(VT)) + Diesel(VT) \times PDies(VT)$$

FCAVF =	1.1
---------	-----

$$Fuel\ Cost(VT) = Fuelcf(VT) \times BFC(VT) \times (1 + FCAVF + Grad\ Adj + Curv\ Adj + CongAdj + Rough\ Adj) \times VT$$

Fuel Cost(VT) =	114936	c/1000km
Fuel Cost(VT) =	114.94	c/km

TABLE 3

Vehicle type	Curve categories		
	Very curvy	Curvy	Straight
Cars - private	0.2	0.1	0
Cars - commercial	0.2	0.1	0
Non-Articulated	0.2	0.1	0
Buses	0.2	0.1	0
Articulated	0.2	0.1	0
B-double	0.1	0.1	0
Road train 1	0.1	0.1	0
Road train 2	0.1	0.1	0

TABLE 4

$$OS(VT) = 42.73$$

Vehicle type	Speed description fcgrvf												
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h
Cars - private	0.023	0.060	0.067	0.070	0.077	0.087	0.100	0.103	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090
Cars - commercial	0.026	0.060	0.068	0.073	0.078	0.084	0.090	0.092	0.083	0.080	0.080	0.077	0.073
Non-Articulated	0.044	0.083	0.093	0.103	0.111	0.123	0.127	0.110	0.104	0.097	0.091	0.076	0.071
Buses	0.050	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.140	0.150	0.130	0.120	0.120	0.110	0.100
Articulated	0.053	0.097	0.113	0.127	0.143	0.160	0.177	0.193	0.187	0.170	0.160	0.147	0.133
B-double	0.050	0.100	0.120	0.140	0.160	0.170	0.190	0.200	0.200	0.220	0.190	0.180	0.170
Road train 1	0.060	0.110	0.130	0.150	0.170	0.190	0.210	0.220	0.240	0.240	0.200	0.200	0.200
Road train 2	0.060	0.120	0.140	0.150	0.170	0.200	0.230	0.270	0.220	0.260	0.230	0.230	0.210

TABLE 5

$$OS(VT) = 42.73$$

ACEITES

dtopcf =	1.5
Pdies(VT) =	0.5
Oilcons(VT, OS) =	0.96
gear =	1.1

$$Oil(VT) = (dtopcf \times Pdies(VT) + (1 - Pdies(VT))) \times Oilcons(VT, OS) \times gear$$

Oil(VT) =	1.32	L/1000km
Oils(VT) =	488	c/L

$$OilCost(VT) = Oil(VT) \times Oils(VT) / 1000$$

OilCost(VT) =	0.64	c/km
---------------	------	------

Vehicle type	Oil consumption factors (oilcons)											Oil costs (c/L)	Pdies		
	Operating speed														
	8-15km/h	16-23km/h	24-31km/h	32-39km/h	40-47km/h	48-55km/h	56-63km/h	64-71km/h	72-79km/h	80-87km/h	88-95km/h	96-103km/h	104-112km/h		
Cars - private	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	522.00	0.00
Cars - commercial	0.75	0.57	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.77	511.00	0.00
Non-Articulated	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.50
Buses	1.26	0.99	0.97	0.95	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	1.07	1.13	1.22	1.31	488.00	0.70
Articulated	1.88	1.37	1.36	1.34	1.36	1.37	1.44	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.63	488.00	0.90
B-double	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 1	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00
Road train 2	2.59	2.02	1.99	1.98	1.99	2.02	2.07	2.12	2.18	2.23	2.26	2.28	2.34	488.00	1.00

TREAD COST

NoTyre =	7
CTYRE =	309.8
CRETR =	141.2
RETN =	1.4
TREADN =	9.27
TREADR =	8.58

$$TreadCost = NoTyre \times \frac{(CTYRE + CRETR + RETN) \times 100}{TREADN + TREADR \times RETN} \times 1000$$

TreadCost(VT) =	16.69	c/0.001mm
-----------------	-------	-----------

TyreK(VT) =	305.54
OS(VT) =	42.7
TyreWC1 =	0.00652
TyreWC2 =	0.08556

$$Tyre\ wear = TyreK(VT) + (OS(VT))^2 \times TyreWC1(VT) + OS(VT) \times TyreWC2(VT)$$

Tyre Wear (VT) =	321.10	0,001 mm/1000 km
------------------	--------	------------------

VCR =	0.565
TCONG(VT) =	1
$Cong(VT) = TCONG(VT) \times VCR$	
Cong(VT) =	0.565

	2%	<4%	<6%	<8%	<10%
Distancia	2.0	2.8	1.8	1.6	1.1
Factor	0	0.14	0.27	0.54	0.81
Factor de ajuste por pendiente =					2.6207

$$Grad(VT) = \sum Gradient\ Adj\ Array(VT, Grade_i) \times Grade\%_i$$

	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	no curve
Prop. Curv.	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6
Cur.Des.Sp	10	15	20	15	0
Factor de ajuste por pendiente =					6.5

$$Curv(VT) = \sum Curvature\ Adj\ Array(VT, Design\ Speed_i) \times Curvature\%_i$$

Factor de ajuste por rugosidad =					0.31
----------------------------------	--	--	--	--	------

TABLA 6

Vehicle type	No.tyre Number of tyres (excl. Spares)	Ctyre# Costs of new tyres (\$)	Cretr# Cost of retreads (\$)	Retn Average number of retreads per tyre	Treadn Thickness of tread for new tyre	Treadr Thickness of tread for retreaded tyre	Tyre wc1 Formula factor 1	Tyre wc2 Formula factor 2	Tyre k State of tune factor	Tcong ⁿ Factor for tyre wear increase at VCR=1
Cars - private	4	121	66	0	6.71	5.87	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Cars - commercial	4	136.33	84.67	0	7.22	6.32	0.00000	0.42780	201.9	1.7
Non-Articulated	7	309.0	141.2	1.4	9.27	8.50	0.00652	0.08556	305.54	1
Buses	8	309.0	141.2	1.75	9.53	8.92	0.00615	0.00000	331.45	1
Articulated	20	338.33	118.67	2.5	10.67	9.75	0.00210	0.00000	100.23	1
B-double	30	331	125	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 1	44	331	130	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1
Road train 2	62	327	134	2.5	10.67	9.75	0.00230	0.00000	106.3	1

TABLA 7

Vehicle type	Gradient					Curve design speed (km/h)			
	<2%	<4%	<6%	<8%	<10%	30	50	65	80
Cars - private	0	0.1	0.2	0.4	0.6	10	15	20	15
Cars - commercial	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Non-Articulated	0	0.14	0.27	0.54	0.81	10	15	20	15
Buses	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Articulated	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
B-double	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 1	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15
Road train 2	0	0.15	0.3	0.6	0.9	10	15	20	15

TABLA 8

Preset	Gradient proportion				
	< 2%	< 4%	< 6%	< 8%	< 10%
Level/flat	90%	10%	0%	0%	0%
Rolling/undulating	50%	30%	20%	0%	0%
Mountainous	30%	30%	20%	20%	0%

Preset	Curvature proportion				
	30km/h	50km/h	65km/h	80km/h	No curve
Straight	0%	0%	0%	10%	90%
Curvy	0%	0%	10%	50%	60%
Very curvy	0%	0%	60%	20%	20%

$$Tyres(VT) = TreadCost \times btw(VT) \times (1 + Cong(VT) + Curve(VT) + Rough(VT) + Grad(VT))$$

Tyres(VT) =	58935.80758	c/1000 km
Tyres(VT) =	58.94	c/km

TABLA 9

OS (VT) = 42.73

Vehicle type	Operating speed (km/h)										
	8-16	16-24	24-32	40-48	48-56	56-64	64-72	72-80	80-88	88-96	96-104
Cars - private	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cars - commercial	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Non-Articulated	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
Buses	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Articulated	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
B-double	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 1	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Road train 2	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Reparación y mantenimiento

RMUC =	8.6
Rugosidad	316.61

200	316.61	250
2	3.1661	2.5

$$rscmrf(VT) = \begin{cases} 30 \leq CNRM < 50 = 1 \\ 50 \leq CNRM < 100 = 1 + (PAVIND(ST, 100) - PAVIND(ST, 50)) \frac{CNRM - 50}{100 - 50} \\ 100 \leq CNRM < 150 = PAVIND(ST, 100) + (PAVIND(ST, 150) - PAVIND(ST, 100)) \frac{CNRM - 100}{150 - 100} \\ 150 \leq CNRM < 200 = PAVIND(ST, 150) + (PAVIND(ST, 200) - PAVIND(ST, 150)) \frac{CNRM - 150}{200 - 150} \\ 200 \leq CNRM < 250 = PAVIND(ST, 200) + (PAVIND(ST, 250) - PAVIND(ST, 200)) \frac{CNRM - 200}{250 - 200} \end{cases}$$

rscmrf =	3.1661
----------	--------

$$REPMCS(VT) = RMUC(VT) \times rscmrf(VT)$$

REPMCS =	27.23	c/km
----------	-------	------

VEHICLESS(VT) =	101450
TAX(VT) =	10.00%
CTYRE(VT) =	309.8
NoTyre(VT) =	7

$$ECV(VT) = VEHICLESS(VT) \times \left(\frac{100}{100 + TAX(VT)} \right) - CTYRE(VT) \times (NOTYRE(VT) + 1)$$

ECV =	98870.25
-------	----------

DDPN(VT) =	0.28
------------	------

TABLA 10

Vehicle type	RMUC
Basic repairs and servicing cost (cents/km)	
Cars - private	4.5
Cars - commercial	4.6
Non-Articulated	8.6
Buses	8.6
Articulated	16.6
B-double	20.6
Road train 1	22.0
Road train 2	28.2

TABLA 11

Surface type	Pavind (NRM)				
	50	100	150	200	250
Earth/formed	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Gravel	1.5	1.57	1.65	2	2.5
Sealed/concrete	1	1.15	1.3	1.45	1.6

TABLA 12

Vehicle type	Tax	Vehicles	Ddpn	Tdi	Fleet	Ahour
	Effective sales tax % on new vehicles	New vehicle price (\$)	Basic distance depreciation rate	Basic time depreciation	Proportion of VT susceptible to fleet reduction	No. Of hours / year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000

$$DSTEP(VT) = 0.001 \times 100 \times ECV(VT) \times \frac{DDPN(VT)}{100}$$

DSTDEP(VT) =	27.68
--------------	-------

TDI(VT) =	7.4
FLEET(VT) =	0.8
AHOUR(VT) =	1760

$$TDPINT(VT) = 100 \times ECV(VT) \times \left(\frac{TDI(VT)}{100} \right) \times \frac{FLEET(VT)}{AHOUR(VT)}$$

TDPINT(VT) =	332.56
--------------	--------

DEPSRF =	1.5
----------	-----

OS(VT) =	42.73
----------	-------

$$DPINCS(VT) = (DSTDEP(VT) \times DEPSRF + \frac{TDPINT(VT)}{OS(VT)})$$

DPINCS(VT) =	49.31
--------------	-------

$$UnitVOC(VT) = Fuel + Oil + Tyre + Repairs + Depreciation$$

UnitVOC =	251.05
-----------	--------

c/km

UnitVOC =	6.38
-----------	------

soles/km

Surface type	Depsrfl
Factor relating distance depreciation to road surface type	
Unsurfaced	2.5
Primeiseal	1.5
Sealed	1
Concrete	1

TABLE 12

Vehicle type	Tax Effective sales tax % on new vehicles	Vehicles New vehicle price (\$)	Ddpn Basic distance depreciation rate	Tdi Basic time depreciation	Fleet Proportion of VT susceptible to fleet reduction	Ahour No. Of hours/year vehicle is available on the road
Cars - private	10%	24,410	0.22	9.50	0.00	1000
Cars - commercial	10%	29,890	0.25	9.20	0.27	1200
Non-Articulated	10%	101,450	0.28	7.40	0.80	1760
Buses	10%	101,450	0.15	7.00	0.80	2000
Articulated	10%	245,917	0.15	5.50	0.65	2833
B-double	10%	357,110	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 1	10%	395,720	0.14	5.50	0.60	3000
Road train 2	10%	495,950	0.14	5.50	0.60	3000