



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN EL TRANSPORTE PESADO DE CARGA POR CARRETERA EN EL ECUADOR Y SU IMPACTO EN LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
MAGISTER EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

ALEX ALFREDO PESÁNTEZ ORELLANA  
alex.pesantez@epn.edu.ec

FRANKLIN ALEJANDRO BOADA FREIRE  
Franklin.boada@epn.edu.ec

DIRECTOR: Ing. ÁNGEL ADALBERTO PORTILLA AGUILAR, MSc.  
angel.portilla@epn.edu.ec

Quito, Junio 2023

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los ingenieros **Alex Alfredo Pesántez Orellana y Franklin Alejandro Boada Freire**, bajo mi supervisión.

---

Ing. Ángel Portilla Aguilar MSc.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Nosotros, **Alex Alfredo Pesántez Orellana y Franklin Alejandro Boada Freire**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Ing. Alex Alfredo Pesántez Orellana

---

Ing. Franklin Alejandro Boada Freire

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia que siempre me han brindado su apoyo incondicional y a su vez a las personas que por distintas circunstancias ya no se encuentran con nosotros, pero siempre serán recordadas en nuestros corazones.

**Alex Pesántez.**

A los que luchan por la conservación del medio ambiente y a mi madre por alentarme a alcanzar mis metas.

**Franklin Boada**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia por ser el sustento que me permite seguir adelante.

Al Ing. Angel Portilla Msc. por su apoyo, consejos y ayuda en la realización de este trabajo.

A mi amigo Franklin por su paciencia y trabajo.

**Alex Pesántez.**

A Dios, a mi madre María de Lourdes y a mis abuelos María Elena y Arquímedes sin su apoyo, motivación e inmenso cariño hubiera sido imposible terminar esta etapa de mi formación.

Al Ing. Msc Angel Portilla por compartir con nosotros sus conocimientos y tiempo tanto en el desarrollo de este proyecto como durante las horas de clase.

Al Maestro Pedro Buenaño por ser un pilar fundamental en mi formación profesional y personal.

Al Ing. Alex Pesantez mi amigo, por haber compartido su tiempo y experiencia conmigo en desarrollo de este proyecto.

**Franklin Boada**

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general .....	1
Objetivos específicos .....	1
1. MARCO TEÓRICO .....	3
1.1. Eficiencia energética en el transporte .....	3
1.2. Caracterización transporte de carga en el Ecuador .....	6
1.2.1. Marcas.....	7
1.2.2. Pesos y dimensiones MTOP.....	10
1.2.3. Homologación.....	10
1.3. Influencia del dióxido de carbono en el calentamiento global.....	12
1.4. Dinámica vehicular .....	15
1.4.1. Fuerzas internas .....	15
1.4.2. Fuerzas externas.....	18
1.4.2.1. Fuerza de frenado.....	19
1.4.2.2. Resistencia del aire.....	19
1.4.2.3. Resistencia a la rodadura.....	20
1.4.2.4. Resistencia en pendiente .....	20
1.5. Conducción eficiente .....	20
1.5.1. Inspección inicial .....	21
1.5.2. Arranque y calentamiento del motor .....	21
1.5.3. Gestión del ralentí .....	22
1.5.4. Cambio de marchas eficiente .....	23
1.5.5. Velocidad del vehículo.....	25
1.5.6. Uso del freno .....	25
1.5.7. Uso eficiente del aire acondicionado .....	26
1.5.8. Adaptación a las condiciones ambientales .....	27
1.6. Optimización de rutas .....	27
1.7. Mantenimiento.....	28

1.7.1.	Lubricantes.....	28
1.7.2.	Sistema de admisión y escape .....	29
1.7.3.	Sistema de refrigeración.....	30
1.7.4.	Compresores de aire .....	31
1.7.5.	Alineación de ruedas .....	31
1.7.6.	Neumáticos .....	32
1.7.7.	Filtro de combustible.....	32
1.7.8.	Dispositivos aerodinámicos .....	32
1.7.9.	Sistemas eléctricos.....	33
1.7.10.	Aire Acondicionado .....	33
2.	METODOLOGÍA.....	34
2.1	Programas de transporte ecológico .....	34
2.2	Análisis estadístico de datos .....	37
2.2.1.	Soluciones tecnológicas del vehículo .....	37
2.2.2.	Conducción eficiente .....	42
2.2.3.	Optimización de rutas .....	43
2.2.4.	Mantenimiento .....	44
2.3.	Definición de parámetros.....	48
2.4.	Desarrollo de un protocolo para el uso eficiente de la energía.....	49
2.4.1.	Soluciones tecnológicas.....	50
2.4.2.	Conducción eficiente .....	51
2.4.3.	Optimización de rutas.....	55
2.4.4.	Mantenimiento .....	57
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	59
3.1.	Alternativas de reducción de consumo energético.....	59
3.2.	Estimación de resultados establecidos en el protocolo .....	59
3.3.	Análisis de resultados.....	61
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	64
4.1.	Conclusiones.....	64

4.2. Recomendaciones.....	65
BIBLIOGRAFÍA.....	66
ANEXOS.....	72
ANEXO A.....	72
ANEXO B.....	74
ANEXO C.....	76



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Número de vehículos por clase.....	7
Tabla 1.2. Capacidad de carga según INEC.....	7
Tabla 1.3. Número de cooperativas y vehículos por provincia .....	12
Tabla 1.4. Coeficientes de resistencia a la rodadura.....	19
Tabla 1.5. Coeficientes de resistencia a la rodadura.....	20
Tabla 2.1. Visión general de los programas de transporte ecológico. ....	34
Tabla 2.2. Descripción de los métodos de prueba. ....	36
Tabla 2.3. Reducción de combustible en el transporte ecológico. ....	36
Tabla 2.4. Ahorro de combustible anual con el uso de faldones laterales. ....	39
Tabla 2.5. Reducción resistencia aerodinámica, carenados posteriores. ....	40
Tabla 2.6. Conducción eficiente y ahorro de combustible. ....	44
Tabla 2.7. Consumo por fallas en los sistemas de admisión y escape.....	46
Tabla 2.8. Parámetros para el uso eficiente de la energía. ....	48
Tabla 2.9. Especificaciones técnicas de los vehículos .....	49
Tabla 2.10. Factibilidad de implementación dispositivos aerodinámicos .....	50
Tabla 2.11. Marcas y modelos de neumáticos de baja resistencia a la rodadura. ....	51
Tabla 2.12. Indicaciones de conducción eficiente en pendientes ascendentes. ....	54
Tabla 2.13. Indicaciones de conducción eficiente en pendientes ascendentes. ....	54
Tabla 2.14. Factores externos al vehículo que afectan el consumo de combustible. ..	55
Tabla 2.15. Factores externos al vehículo que afectan el consumo de combustible. ..	58
Tabla 3.1. Alternativas de reducción de consumo energético .....	60
Tabla 3.2. Alternativas de reducción de consumo energéticos.....	60
Tabla 3.3. Consumo de combustible y emisiones de CO <sub>2</sub> vehículo categoría N2.....	62
Tabla 3.4. Consumo de combustible y emisiones de CO <sub>2</sub> vehículo categoría N3.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Demanda de energía por sector.....	3
Figura 1.2. Consumo energético por tipo de transporte. ....	4
Figura 1.3. Consumo energético por fuente en el transporte.....	4
Figura 1.4. Consumo de gasolina y diésel por tipo de vehículo.....	5
Figura 1.5. Marcas de camiones en el Ecuador. ....	8
Figura 1.6. Marcas de tanqueros en el Ecuador.....	8
Figura 1.7. Marcas de trailers en el Ecuador.....	9
Figura 1.8. Marcas de volquetas en el Ecuador. ....	9
Figura 1.9. Homologación vehicular subcategoría N2.....	10
Figura 1.10. Homologación vehicular subcategoría N3. ....	11
Figura 1.11. Transporte pesado por provincia.....	11
Figura 1.12. Composición de los gases de escape en motores gasolina y diésel. ....	13
Figura 1.13. Gases causantes del efecto invernadero. ....	14
Figura 1.14. Emisiones de CO <sub>2</sub> por sector. ....	14
Figura 1.15. Elementos del tren motriz ....	15
Figura 1.16. Diagrama de fuerzas externas ....	18
Figura 1.17. Curvas características.....	23
Figura 1.18. Zona de conducción eficiente.....	24
Figura 1.19. Zona de conducción eficiente.....	25
Figura 1.20. Pérdidas de bombeo. ....	29
Figura 1.21 Ángulo de arrastre del tándem. ....	31
Figura 1.22. Dispositivos aerodinámicos.....	33
Figura 2. 1. Dispositivos aerodinámicos.....	37
Figura 2. 2. Influencia del viento en la cabina de un camión ....	38
Figura 2. 3 Tipos de faldones laterales ....	39
Figura 2. 4 Tipos de faldones laterales ....	40
Figura 2. 5 Reductores de espacio entre cabina y contenedor.....	41
Figura 2. 6 Disipación de energía debido a la deformación de los neumáticos. ....	42
Figura 2. 7 Principales modos de conducción eficiente.....	43
Figura 2. 8 Efectos de la presión de inflado en el desgaste de neumáticos. ....	47
Figura 2. 9 Zona de consumo eficiente Hino SS1E.....	52
Figura 2. 10 Curvas características torque potencia Chevrolet FRR.....	53
Figura 2. 11 Curvas características torque potencia Hino SS1E ....	53
Figura 2. 12 Mapa de la Red Vial Estatal – Ecuador.....	56
Figura 2. 13 Mapa de la Red Vial Estatal – Ecuador.....	57

## RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo, elaborar un protocolo para el uso eficiente de la energía en el transporte pesado de carga por carretera en el Ecuador y su impacto en las emisiones de CO<sub>2</sub> para lo cual se realizó un análisis del consumo energético en el sector transporte, una caracterización del parque automotriz nacional en función de la clase de vehículos, capacidad de carga y marcas de acuerdo a la normativa nacional vigente en lo referente a pesos, medidas y homologación de acuerdo con los datos obtenidos del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) y la Agencia Nacional de Tránsito (ANT).

El protocolo aplica los fundamentos de la dinámica vehicular, conducción eficiente, optimización de rutas y el mantenimiento para reducir las emisiones contaminantes.

De experiencias de otros países y regiones se seleccionaron los parámetros más relevantes que influyen en el consumo energético y que pueden ser implementados en nuestro país teniendo en cuenta la geometría del vehículo, topografía, condiciones climáticas, tráfico y limitaciones de la red vial.

Se estimaron los resultados de la implementación obteniéndose reducciones significativas de consumo combustible como es el caso de los deflectores de cabina (6.35%), neumáticos de baja resistencia a la rodadura (5%), conducción eficiente (40%) y se detalló como la falta de mantenimiento incrementa el consumo energético del vehículo. Con lo cual se corroboró que se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> contribuyendo al desarrollo sostenible y conservación del medio ambiente.

**Palabras clave:** Aerodinámica, conducción eficiente, emisiones de CO<sub>2</sub>, mantenimiento, protocolo, resistencia a la rodadura.

## **ABSTRACT**

The objective of this work is to develop a protocol for the efficient use of energy in heavy road freight transport in Ecuador and its impact on CO<sub>2</sub> emissions. For this purpose, an analysis of energy consumption in the transport sector was carried out, as well as a characterization of the national vehicle fleet in terms of vehicle class, load capacity and brands according to current national regulations regarding weights, measurements and homologation, based on data obtained from the Ministry of Transport and Public Works (MTO) and the National Transit Agency (ANT).

The protocol applies the fundamentals of vehicle dynamics, efficient driving, route optimization, and maintenance to reduce polluting emissions.

From experiences in other countries and regions, we selected the most relevant parameters that influence energy consumption and that can be implemented in our country, considering vehicle geometry, topography, climatic conditions, traffic and road network limitations.

The results of the implementation were estimated obtaining significant reductions in fuel consumption as in the case of cabin deflectors (6.35%), low rolling resistance tires (5%), efficient driving (40%) and it was detailed how the lack of maintenance increases the vehicle's energy consumption. Thus, it was corroborated that CO<sub>2</sub> emissions are reduced, contributing to sustainable development and environmental conservation.

**Keywords:** Aerodynamics, efficient driving, CO<sub>2</sub> emissions, maintenance, protocol, rolling resistance.

# **ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN EL TRANSPORTE PESADO DE CARGA POR CARRETERA EN EL ECUADOR Y SU IMPACTO EN LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub>**

## **INTRODUCCIÓN**

A nivel mundial, el transporte representa el 19% del consumo mundial de energía según [1] siendo además el sector productivo de mayor consumo energético y mayores emisiones de CO<sub>2</sub> en el Ecuador de acuerdo con el Balance Energético Nacional 2018 [2].

Debido a la antigüedad del parque automotor de nuestro país [3], se tienen mayores pérdidas energéticas, por carecer de innovación tecnológica tanto en motores, aerodinámica y otros aspectos de la dinámica vehicular que mejoren la eficiencia energética [4].

Además, en muchos países en desarrollo aún no se cuenta con iniciativas que promuevan cambios positivos en las organizaciones de transporte como capacitaciones sobre conducción eficiente y logística enfocada en la reducción de consumo de combustible.

La falta de un adecuado mantenimiento de los vehículos genera un aumento en el consumo de combustible y puede dar origen a fallas mecánicas que disparen los costos operativos [5].

Todo esto se ve reflejado en consecuencias negativas en la economía y en el medio ambiente; por lo que este trabajo busca desarrollar estrategias enfocadas en el uso eficiente de la energía y el consecuente impacto en las emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que en el Ecuador existen 4 813 operadoras de transporte de carga pesada, con un total de 49 869 vehículos en operación según datos de la Agencia Nacional de Tránsito [6].

## **Objetivo general**

Elaborar un protocolo para el uso eficiente de la energía en el transporte pesado de carga por carretera en el Ecuador y su impacto en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## **Objetivos específicos**

- Determinar las características del tren motriz de los vehículos de transporte pesado de carga por carretera en base a la información encontrada en las bases de datos de la Agencia Nacional de Tránsito y del Servicio de Rentas Internas.
- Establecer las configuraciones aerodinámicas de los vehículos de transporte pesado de carga por carretera.

- Seleccionar las alternativas de reducción de combustible aplicables a los vehículos de acuerdo con las características del tren motriz.
- Identificar las mejoras en la dinámica vehicular que deben ser implementadas en los vehículos de acuerdo con su configuración aerodinámica.
- Establecer prácticas de mantenimiento enfocadas en el uso eficiente de la energía.
- Elaborar un protocolo de conducción eficiente para el transporte pesado de carga por carretera en el Ecuador.

# 1. MARCO TEÓRICO

Para elaborar el protocolo de uso eficiente de la energía en el transporte pesado de carga por carretera en el Ecuador y su impacto en las emisiones de CO<sub>2</sub> es necesario conocer el balance energético nacional de los últimos años con el cual se analizarán los consumos energéticos en el sector transporte por tipo de vehículo y combustible utilizado. Una vez hecho esto se realizará la clasificación del parque automotor del Ecuador en función de la clase de vehículos, capacidad de carga y marcas; además se revisará la normativa nacional vigente en lo referente a pesos, medidas, homologación y cooperativas habilitadas de acuerdo con los datos obtenidos en las bases de datos del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) y la Agencia Nacional de Transito (ANT).

Según el Plan Nacional de Eficiencia Energética PLANEE 2016-2035 se han establecido varios objetivos encaminados a la reducción del consumo energético, como el que busca reemplazar tecnologías de transporte ineficientes, implementar el etiquetado energético y realizar capacitación en técnicas de conducción eficiente

Se revisarán los fundamentos de la dinámica vehicular y su aplicación en el transporte pesado. Por último, se estudiarán la conducción eficiente, la optimización de rutas y el mantenimiento transporte pesado de carga por carretera del Ecuador.

## 1.1. Eficiencia energética en el transporte

En el Ecuador de acuerdo con el Balance Energético Nacional en el año 2018 el consumo energético fue de 94 millones de BEP (barriles equivalentes de petróleo) [2], de los cuales el sector del transporte constituye el 48,8% como se puede ver en la figura 1.1.



Figura 1.1. Demanda de energía por sector.  
(Fuente: [2])

En la figura 1.2 se indica la clasificación del sector del transporte, en donde el transporte terrestre presenta una demanda energética del 94,4% dentro del cual el transporte de carga pesada representa el 46,8% (20,27 millones de BEP).

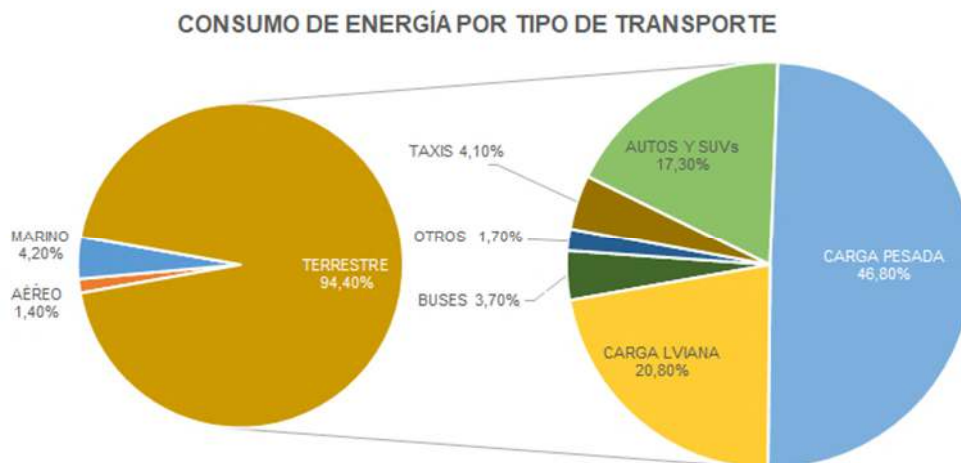


Figura 1.2. Consumo energético por tipo de transporte.  
(Fuente: [2])

En lo referente a combustibles, se conoce que el mayor consumo de energía proviene del diésel y gasolinas que juntas alcanzan el 98,3% (45,09 millones de BEP) de este sector productivo.

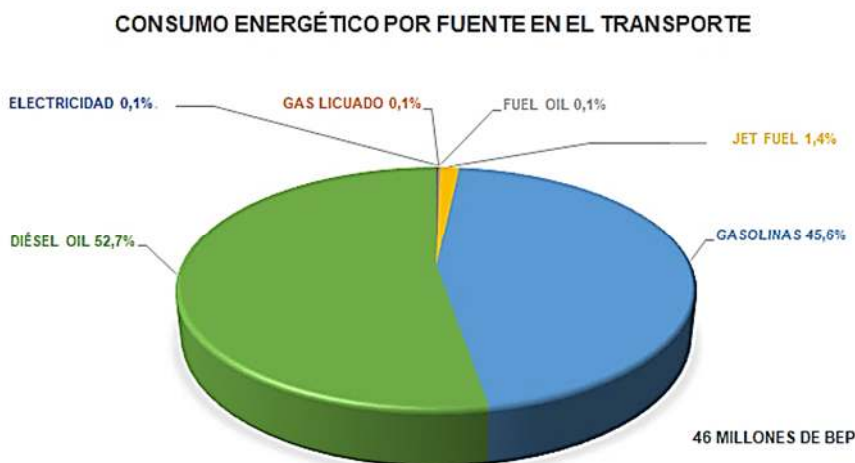
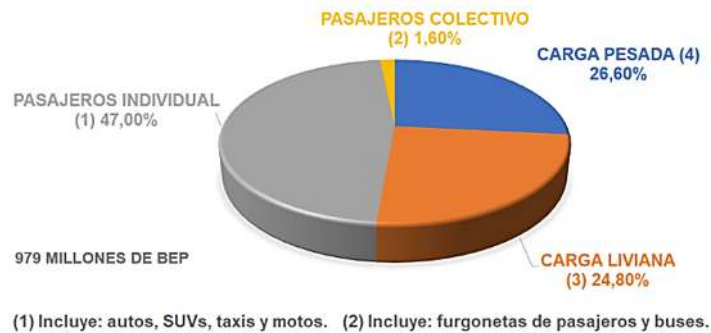


Figura 1.3. Consumo energético por fuente en el transporte.  
(Fuente: [2])

Durante el año 2018 en el Ecuador, se conoce que el 26,6% (260,4 millones de galones de gasolina) del consumo de gasolina corresponde al transporte de carga pesada; mientras que este mismo tipo de vehículos representan el 74,1% del consumo de diésel (686,9 millones de galones de diésel). Como se muestra en la figura 1.4.



### CONSUMO DE GASOLINAS POR TIPO DE VEHÍCULO



### CONSUMO DE DIÉSEL POR TIPO DE VEHÍCULO

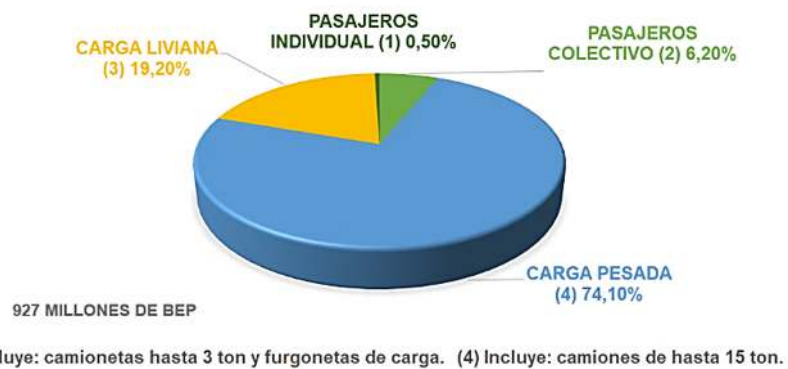


Figura 1.4. Consumo de gasolina y diésel por tipo de vehículo.  
(Fuente: [2])

En el año 2019 fue aprobada la Ley Orgánica de Eficiencia Energética [7] por parte de la Asamblea Nacional, la cual busca promover el uso eficiente, racional y sostenible de la energía en todas sus formas, a fin de incrementar la seguridad energética del país y construir una cultura de sustentabilidad ambiental y eficiencia energética, así como también contribuir a la reducción del cambio climático. Los principios de esta ley son los siguientes:

1. Racionalización del consumo energético y preservación de recursos energéticos, renovables y no renovables.
2. Mejoramiento de la productividad y la competitividad a través de la reducción de costos por uso eficiente de la energía.
3. Promoción de energía limpia y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
4. Fomento de una cultura nacional orientada al uso eficiente de los recursos energéticos.
5. Transparencia e información adecuada para los consumidores y tomadores de decisión.

Esta ley tiene incidencia en el sector del transporte, ya que priorizará la eficiencia energética en la planificación pública y establecerá de forma progresiva los límites en niveles de consumo y emisiones que deberán cumplir los vehículos automotores nuevos, de cualquier tipo, que se comercialicen en el país. Para esto los vehículos nuevos contarán con una etiqueta de eficiencia energética que informe al consumidor sobre el cumplimiento de los límites y condiciones de eficiencia energética.

Todas estas políticas se encuentran definidas como parte del Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE) 2016-2035 [8], cuya meta para el sector del transporte es generar un ahorro acumulado de 339,6 Mbep. hasta el año 2035, para esto se plantean varios objetivos como:

- Optimizar la infraestructura para la circulación del transporte, mediante la planificación y ordenamiento del flujo de vehículos en las ciudades reduciendo tiempos de traslado y consumo de combustibles.
- Reemplazar tecnologías de transporte ineficientes, implementar el etiquetado energético y realizar capacitación en técnicas de conducción eficiente.
- Sustituir fuentes de energía utilizadas como combustibles, mejorar su calidad e implementar nuevas tecnologías.

## **1.2. Caracterización transporte de carga en el Ecuador**

Mediante el acuerdo ministerial No. 018-2016 del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) se define a un vehículo de carga pesada como aquel cuyo peso bruto vehicular (PBV) es igual o supera los 3 500 kg [9].

Entendiéndose por PBV al total del peso del vehículo en vacío más la capacidad de carga técnicamente admitida según el fabricante.

Según la norma INEN 2656 Clasificación Vehicular [10], existen varias categorías para identificarlos según sus características generales de diseño y uso. De las cuales se considerarán las siguientes de acuerdo con la definición de carga pesada:

- N: Vehículos motorizados de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de mercancías.
- N2: Vehículos motorizados cuyo PBV supere los 3500 kg y no exceda los 12 000 kg.
- N3: vehículos cuyo PBV sea superior a los 12 000 kg.
- O: Vehículos no motorizados diseñados para ser remolcados por un vehículo de motor.

Dentro de los datos reportados en el año 2018 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), fueron matriculados 2 403 651 vehículos [11] los cuales fueron clasificados como se puede observar en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Número de vehículos por clase.

Clase	N° de vehículos
Automóvil	750.312
Autobús	27.839
Camión	110.226
Camioneta	444.459
Furgoneta	52.736
SUV	396.201
Motocicleta	582.506
Tanquero	3.826
Trailer	13.408
Volqueta	16.442
Otra clase	5.696
<b>Total</b>	<b>2.403.651</b>

(Fuente: [11])

Se identificó que, dentro de esta clasificación, en lo referente al transporte de carga pesada, se encuentran los camiones, tanqueros, trailers y volquetas cuyas capacidades de carga de acuerdo con el INEC se detallan en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Capacidad de carga según INEC.

Toneladas	Camiones	Tanqueros	Trailers	Volquetas
1/4 a 3	32.917	57	0	66
3 1/4 a 6	47.394	997	77	1.803
6 1/4 a 10	17.685	1.059	799	3.196
10 1/4 a 15	8.803	1.017	1.190	4.115
15 1/4 y más	3.427	696	11.342	7.262
<b>Total</b>	<b>110.226</b>	<b>3.826</b>	<b>13.408</b>	<b>16.442</b>

(Fuente: [11])

### 1.2.1. Marcas

Dentro del transporte de carga pesada, en el país existen varias marcas de vehículos ensamblados o fabricados nacional e internacionalmente. Las marcas que tienen mayor participación de mercado son Hino (30%) y Chevrolet (30%) [INEC cuadro 8] de camiones comercializados (figura 1.5); Hino (36%) y Chevrolet (13%) del total de tanqueros (figura 1.6); Kenworth (23%), Internacional (14%) y Freightliner (13%) de los trailers (figura 1.7) y en lo referente a volquetas Hino (33%) y Mercedes Benz (11%) (figura 1.8).

## CAMIONES

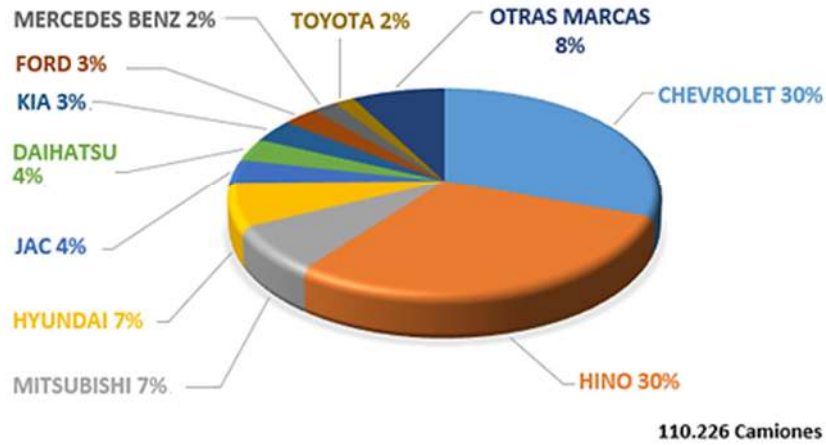


Figura 1.5. Marcas de camiones en el Ecuador.  
(Fuente: [11])

## TANQUEROS

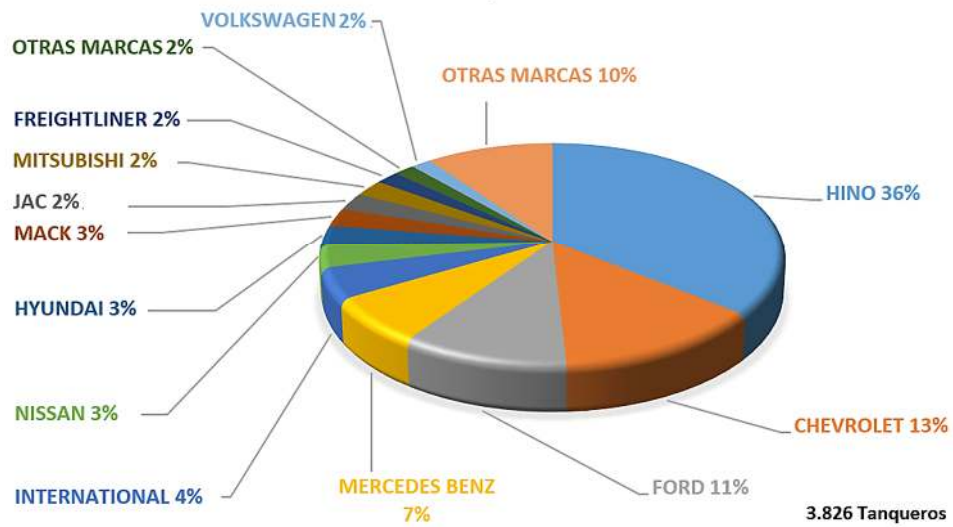


Figura 1.6. Marcas de tanqueros en el Ecuador.  
(Fuente: [11])

## TRAILERS

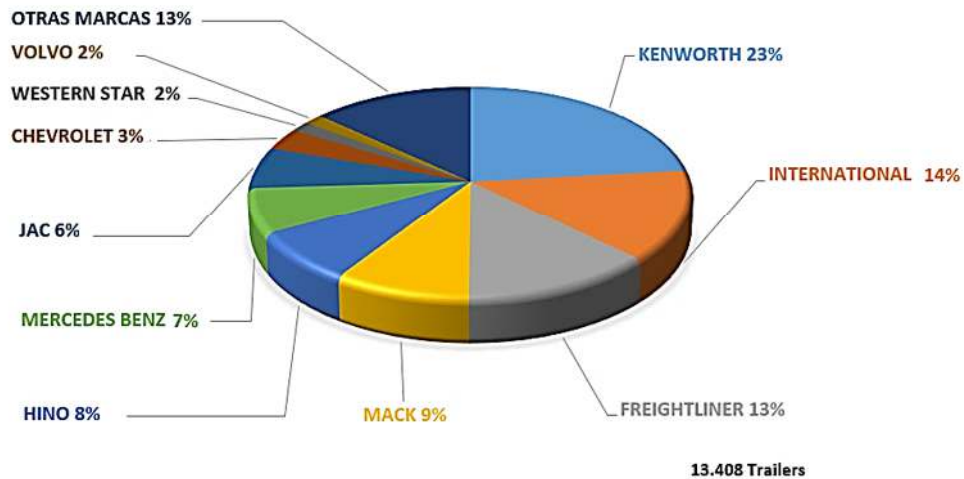


Figura 1.7. Marcas de trailers en el Ecuador.  
(Fuente: [11])

## VOLQUETAS

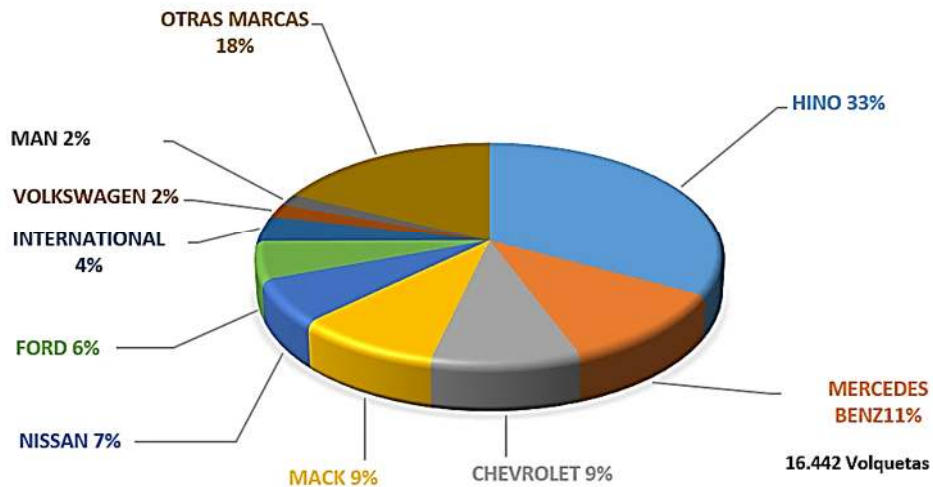


Figura 1.8. Marcas de volquetas en el Ecuador.  
(Fuente: [11])

Para que todas estas marcas puedan ser comercializadas en el Ecuador, deben cumplir con los procesos de homologación vehicular que se encuentran establecidos por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), así como las normas de aplicación para el Control de Pesos y Dimensiones a los vehículos de carga pesada que circulan en la Red Vial del País expedidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO).

### 1.2.2. Pesos y dimensiones MTOP

El acuerdo ministerial No. 018-2016 del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) expide las normas de aplicación para el Control de Pesos y Dimensiones cuyas disposiciones de carácter obligatorio deben cumplir todos los vehículos de carga pesada con respecto a los pesos, tamaños y demás características de los vehículos para que puedan transitar por los caminos del país. Ver Anexo A.

### 1.2.3. Homologación

La homologación vehicular es el procedimiento por el cual la autoridad competente, certifica que un vehículo cumple con las disposiciones técnicas y administrativas pertinentes.

La Agencia Nacional de Transito (ANT) es la entidad encargada de realizar este procedimiento, en el Listado de Vehículos Homologados del 28 de agosto de 2020 se encuentran todos los modelos que han sido aprobados para su comercialización. De los cuales 169 modelos vehículos corresponden a la subcategoría N2 y 454 a la subcategoría N3 [12].

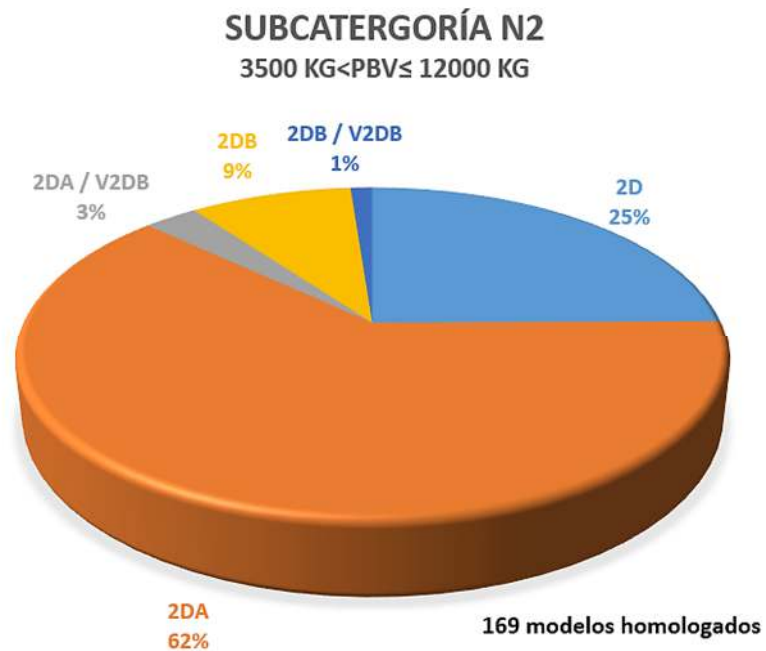


Figura 1.9. Homologación vehicular subcategoría N2.  
(Fuente: [12])

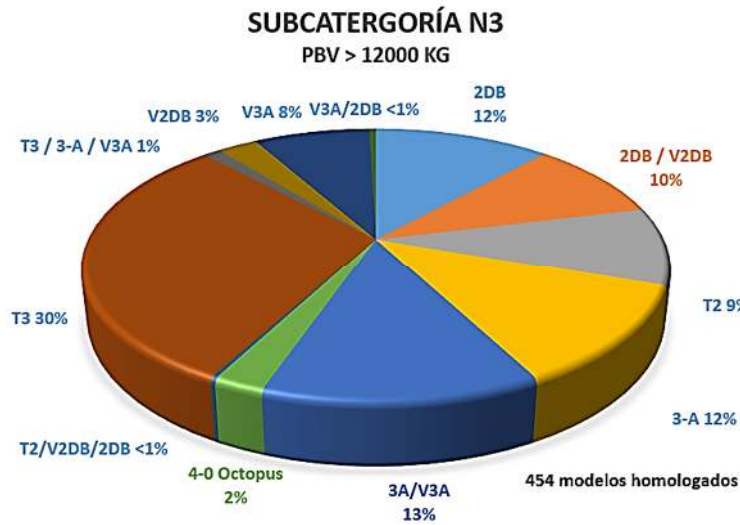


Figura 1.10. Homologación vehicular subcategoría N3.  
(Fuente: [12])

Dentro de la categoría N2, según la participación de mercado Figura 1.5, para este estudio se considerará a la marca Chevrolet con sus modelos FRR, NMR, NPR, NQR y a la marca Hino con las diferentes versiones del XZU. Y para los vehículos de la categoría N3 se considerará a la marca Hino, la cual comercializa el modelo SS1E en varias versiones. Las provincias de Pichicha (28 414) y Guayas (27 833) son las que mayor cantidad de vehículos de transporte pesado poseen [11], como se puede apreciar en la figura 1.11.

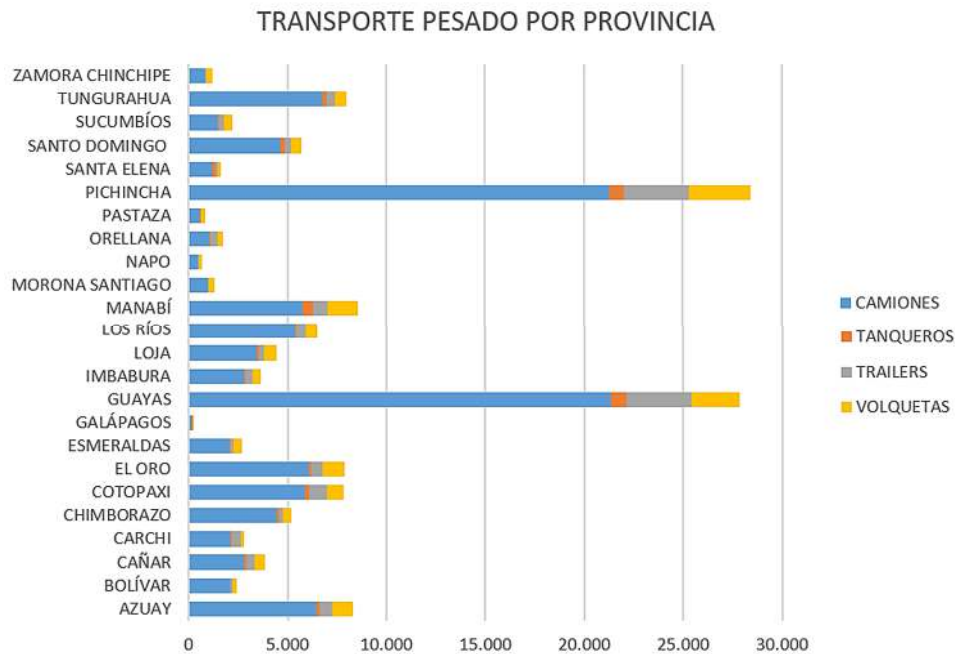


Figura 1.11. Transporte pesado por provincia  
(Fuente: [11])

En la tabla 1.3 se pueden observar el número de cooperativas y vehículos que se dedican al transporte de carga pesada por provincia, estos datos fueron obtenidos de la Agencia Nacional de Tránsito. Siendo Pichincha la que reúne mayor concentración con 1 332 cooperativas y 9 724 vehículos con título habilitante, seguido de Guayas que posee 790 cooperativas que prestan su servicio con un total de 8 054 vehículos.

Tabla 1.3. Número de cooperativas y vehículos por provincia

PROVINCIA	NÚMERO DE COOPERATIVAS	NÚMERO DE VEHÍCULOS
AZUAY	336	2886
BOLIVAR	42	1594
CAÑAR	163	2351
CARCHI	65	134
CHIMBORAZO	131	2113
COTOPAXI	359	4147
EL ORO	175	2914
GALAPAGOS	8	24
GUAYAS	790	8054
IMBABURA	157	2598
MANABÍ	323	4235
MORONA SANTIAGO	49	418
NAPO	43	460
ORELLANA	97	1178
PASTAZA	38	536
PICHINCHA	1332	9724
SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	134	233
SUCUMBIOS	66	685
TUNGURAHUA	368	4943
ZAMORA CHINCHIPE	137	642
<b>TOTAL</b>	<b>4813</b>	<b>49869</b>

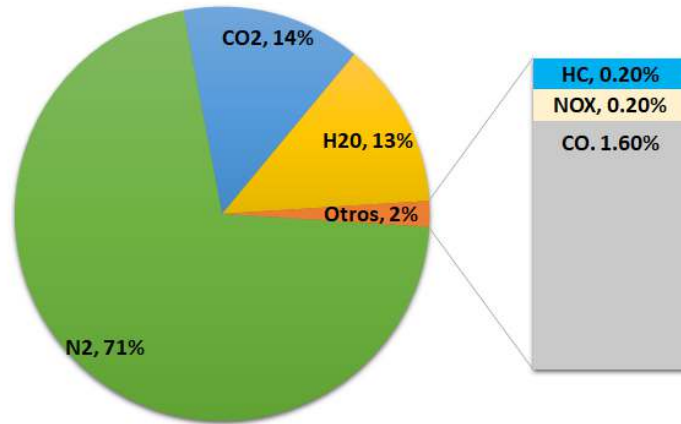
(Fuente: [6])

### 1.3. Influencia del dióxido de carbono en el calentamiento global

Los motores de combustión interna que utilizan combustibles fósiles para la transformación de energía térmica en mecánica producen emisiones que afectan a la salud y al medio ambiente, cuando se realiza el proceso de combustión se obtienen los siguientes gases: hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados (aldehídos, alcanos, alquenos, etc.), los óxidos de nitrógeno (NOX), material particulado, monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SOX) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como se puede observar en la figura 1.12.



Composición gases de escape en motores gasolina



Composición gases de escape en motores diésel

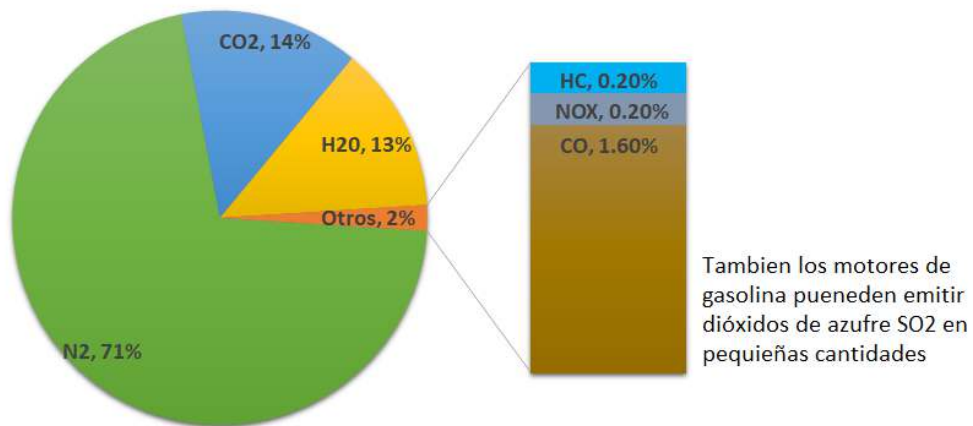


Figura 1.12. Composición de los gases de escape en motores gasolina y diésel.  
(Fuente: [13])

El CO<sub>2</sub> es un gas que está presente de manera natural en la atmósfera, las emisiones excesivas de este gas producto de las actividades del ser humano (combustión de combustibles fósiles para generar energía y con fines de transporte) han influenciado en la capacidad de los disipadores naturales (como los bosques) para eliminarlo.

Investigaciones relacionadas al cambio climático muestran que las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se incrementaron significativamente en el último siglo. En la era preindustrial la concentración promedio de CO<sub>2</sub> tenía un valor aproximado de 280 partes por millón (ppm); para el año 2016 este valor alcanzó las 403 ppm [14] lo que implica un incremento del 40%. En el año 2020 la National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) [15] obtuvo un valor máximo de 417,1 ppm [15].

Este incremento de CO<sub>2</sub> en la atmosfera en conjunto con el crecimiento del nivel de gases como el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) son los principales responsables del calentamiento global como se observa en la figura 1.13.

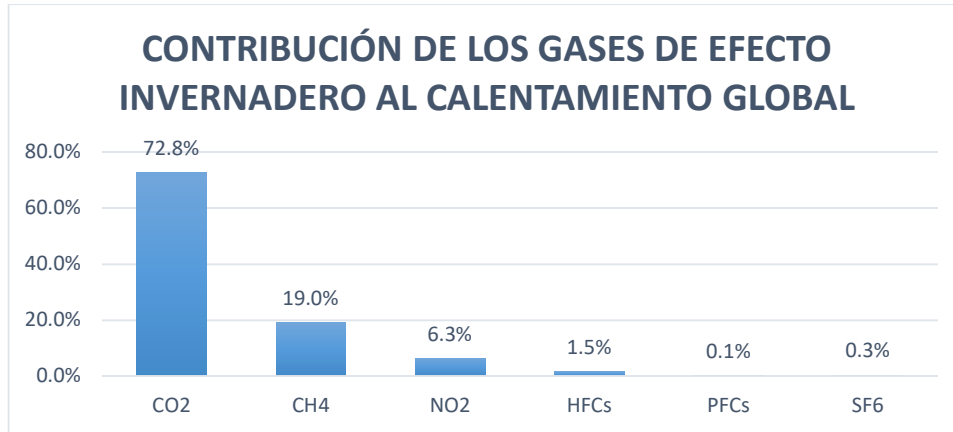


Figura 1.13. Gases causantes del efecto invernadero.  
(Fuente: [16])

Se prevé que, para finales del siglo XXI, de mantenerse el aumento de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI), la temperatura global de la Tierra aumentará entre 1.4 - 6.4 °C [14]. Obteniéndose como consecuencia de este cambio climático la destrucción del ecosistema, extinción de plantas y animales; un incremento en la frecuencia e intensidad de los desastres naturales, así como un deterioro en la calidad y reducción de la esperanza de vida.

Todo esto en conjunto provocaría problemas económicos, sociales, así como pérdidas materiales; por lo que es necesario reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del sector del transporte, el cual representa el 24,48 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial [16] como se muestra en la figura 1.14.

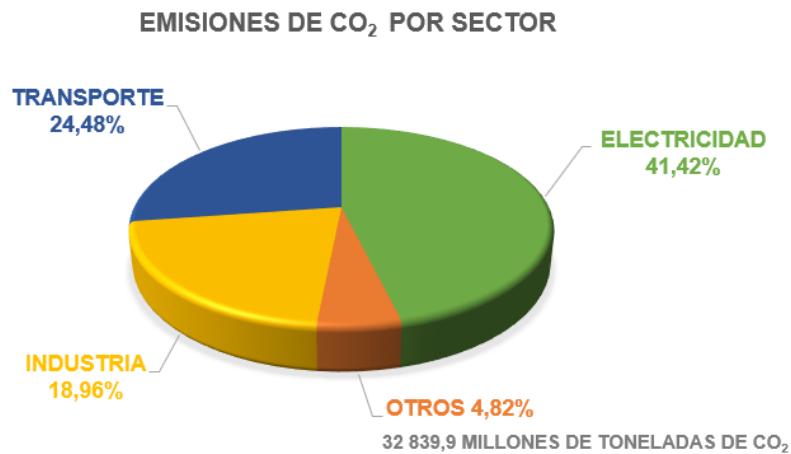


Figura 1.14. Emisiones de CO<sub>2</sub> por sector.  
(Fuente: [16])

Para mitigar los efectos de los gases que provocan el calentamiento global, es necesario reducir el consumo de combustibles mediante el uso eficiente de la energía.

## 1.4. Dinámica vehicular

Antes de mencionar las soluciones tecnológicas que se pueden aplicar para mejorar la eficiencia energética de los vehículos de carga pesada por carretera es necesario comprender los principios de la dinámica vehicular.

La dinámica vehicular estudia la interacción del vehículo con el entorno, como las fuerzas influyen en su movimiento, la respuesta que este tendrá bajo distintas situaciones de manejo y como afectan los cambios de diseño en el comportamiento del vehículo [17]. Dichas fuerzas pueden clasificarse como internas y externas.

### 1.4.1. Fuerzas internas

Estas fuerzas son producidas por el tren motriz, el cual es un conjunto de sistemas dinámicos, que permite la transformación de la energía interna del combustible en trabajo y movimiento del vehículo [18]. La configuración típica del tren motriz en los vehículos de carga pesada por carretera está formada por el motor, la caja de cambios, los ejes de transmisión, el diferencial y los neumáticos.

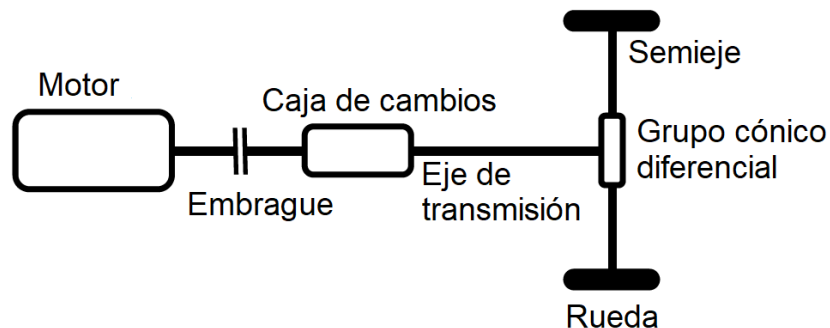


Figura 1.15. Elementos del tren motriz  
(Fuente: [18])

#### 1.4.1.1. Motor

Los motores para el transporte de carga pesada por carretera, en su mayoría son motores de encendido por compresión, (diésel), el cual produce el torque necesario para el movimiento de sus componentes a través de la combustión. Utilizando la segunda ley de Newton podemos describir el motor como:

$$J_e \dot{\omega}_e = T_e - T_c \quad \text{Ec. [1.1]}$$

$J_e$ : inercia rotacional del motor incluido el volante de inercia [ $kg \ m^2$ ].

$\dot{\omega}_e$ : aceleración angular del volante de inercia. [ $\frac{rad}{s^2}$ ]

$T_e$ : torque generado por la combustión menos las pérdidas internas [ $N \ m$ ].

$T_c$ : torque del embrague. [ $N \ m$ ]

El torque neto se puede obtener de las curvas características del motor proporcionadas por el fabricante, las cuales permiten conocer su comportamiento bajo diferentes condiciones de operación.

#### 1.4.1.2. Embrague

Este mecanismo propio de los vehículos con transmisión manual consiste en un par de discos de fricción cuya función es acoplar y desacoplar el volante de inercia con el eje de entrada de la caja de cambios para poder realizar los cambios de marchas.

$$T_g = T_c \quad \text{Ec. [1.2]}$$

$$\omega_g = \omega_c \quad \text{Ec. [1.3]}$$

$T_g$ : torque de la transmisión [ $N m$ ].

$\omega_g$ : velocidad angular de la transmisión  $\left[\frac{rad}{s}\right]$ .

$\omega_c$ : velocidad angular del embrague  $\left[\frac{rad}{s}\right]$ .

#### 1.4.1.3. Transmisión

La función de la transmisión es adaptar el régimen del motor a la velocidad de las ruedas, se compone de un conjunto de engranajes que convierten el torque de salida del embrague según la marcha seleccionada. Si se requiere de mucha fuerza como en los arranques en pendiente se utilizarán marchas cortas, y si se quiere mantener una velocidad de crucero alta, se utilizarán las marchas largas. Durante el cambio de marchas el torque disminuye mientras el embrague desacopla el motor del tren motriz, cuando se selecciona una nueva marcha y el embrague se vuelve a acoplar al motor lo que hace que el torque se incremente nuevamente.

$$T_p = i_g \eta_g T_g \quad \text{Ec. [1.4]}$$

$$i_g \omega_p = \omega_g \quad \text{Ec. [1.5]}$$

$T_p$ : torque del eje de transmisión [ $N m$ ].

$i_g$ : relación de transmisión [*adimensional*].

$\eta_g$ : eficiencia de la caja de cambios [*adimensional*].

$\omega_p$ : velocidad angular de la transmisión  $\left[\frac{rad}{s}\right]$ .

#### 1.4.1.4. Eje de transmisión

Es el elemento encargado de transmitir la potencia desde la caja de cambios hacia el grupo cónico diferencial

$$T_f = T_p \quad \text{Ec. [1.6]}$$

$$\omega_f = \omega_p \quad \text{Ec. [1.7]}$$

$T_f$ : torque del grupo cónico diferencial [ $N m$ ].

$\omega_f$ : velocidad del grupo cónico diferencial  $\left[\frac{rad}{s}\right]$ .

#### 1.4.1.5. Grupo cónico diferencial

Es un ensamble de engranes ubicados en la parte posterior del vehículo cuya función es la de transmitir el par del eje de transmisión a las ruedas, además permite que las ruedas giren a diferentes velocidades cuando el vehículo toma una curva.

$$T_d = i_f \eta_f T_f \quad \text{Ec. [1.8]}$$

$$i_f \omega_d = \omega_f \quad \text{Ec. [1.9]}$$

$T_d$ : torque del eje del semieje (palier) [ $N m$ ].

$i_f$ : relación de transmisión del grupo cónico diferencial [*adimensional*].

$\eta_f$ : eficiencia del del grupo cónico diferencial [*adimensional*].

$\omega_d$ : velocidad angular del semieje (palier)  $\left[\frac{rad}{s}\right]$ .

#### 1.4.1.6. Semieje

Este elemento conecta las ruedas del vehículo con el grupo cónico diferencial.

$$T_\omega = T_d \quad \text{Ec. [1.10]}$$

$$\omega_\omega = \omega_d \quad \text{Ec. [1.11]}$$

$T_\omega$ : torque de las ruedas [ $N m$ ].

$\omega_\omega$ : velocidad angular de las ruedas  $\left[\frac{rad}{s}\right]$ .

#### 1.4.1.7. Ruedas

Están unidas a los semiejes y son las encargadas de mover al vehículo

$$J_\omega \dot{\omega}_\omega = T_\omega - T_b - r_\omega F_\omega \quad \text{Ec. [1.12]}$$

$$v = r_\omega \omega_\omega = \frac{r_\omega \omega_e}{i_g i_f} \quad \text{Ec. [1.13]}$$

$J_\omega$ : inercia rotacional de las ruedas [ $kg m^2$ ].

$\dot{\omega}_\omega$ : aceleración angular de las ruedas  $\left[\frac{rad}{s^2}\right]$ .

$T_b$ : torque de frenado [ $N m$ ].

$r_\omega$ : radio de la rueda [ $m$ ].

$F_\omega$ : fuerza de avance [ $N$ ].

$v$ : velocidad del vehículo  $\left[\frac{m}{s}\right]$ .

$\omega_e$ : velocidad angular del volante de inercia  $\left[\frac{rad}{s}\right]$ .

### 1.4.1.8. Ecuación de las fuerzas internas

$$F_{\omega} = \frac{i_g i_f \eta_g \eta_f}{r_{\omega}} T_e - \frac{J_{\omega} + i_g^2 i_f^2 \eta_g \eta_f J_e}{r_{\omega}^2} \dot{v} - \frac{T_b}{r_{\omega}} \quad \text{Ec. [1.14]}$$

$$F_{\omega} = F_e - F_i - F_b \quad \text{Ec. [1.15]}$$

Se puede observar que la fuerza de avance es igual a la fuerza generada por el motor menos la inercia que este debe vencer y menos la fuerza de frenado.

### 1.4.2. Fuerzas externas

Los principales factores que influyen en el consumo de combustible son la velocidad y el peso del vehículo por su efecto en la resistencia a la rodadura, la resistencia del aire y la inclinación del camino [18].

Estos factores se derivan en fuerzas externas que afectan el movimiento del vehículo de carga pesada por carretera. La resistencia del aire y la resistencia a la rodadura al estar en contra del movimiento del vehículo se consideran como fuerzas resistivas, la fuerza realizada por los frenos también se considerará como resistiva al momento en que estos sean aplicados. La fuerza de gravedad dependiendo de la topografía del camino puede considerarse a favor o en contra del movimiento.

$$m\dot{v} = F_{\omega} - F_b - F_a - F_r - F_g \quad \text{Ec. [1.16]}$$

$m$ : Masa [kg].

$\dot{v}$ : Aceleración  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$ .

$F_{\omega}$ : Fuerza de avance [N].

$F_b$ : Fuerza de frenado [N].

$F_a$ : Resistencia del aire [N].

$F_r$ : Resistencia a la rodadura [N].

$F_g$ : Resistencia en pendiente [N].

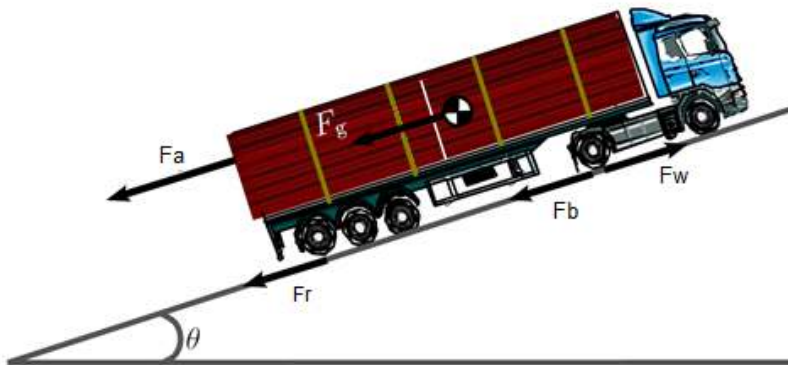


Figura 1.16. Diagrama de fuerzas externas  
(Fuente: [18])

### 1.4.2.1. Fuerza de frenado

Es una fuerza de sentido contrario al movimiento del vehículo la cual produce una desaceleración debida a la fricción de los elementos de frenado, los cuales transforman la energía cinética en calor.

### 1.4.2.2. Resistencia del aire

La resistencia aerodinámica es la fuerza que ejerce el viento sobre un vehículo en movimiento en la dirección opuesta a su desplazamiento.

La resistencia aerodinámica se genera por dos fuentes: una es el flujo de aire alrededor del cuerpo del vehículo y la otra es el flujo que atraviesa el radiador hacia el interior del vehículo, siendo esta la más relevante ya que dentro del compartimiento del motor el flujo de aire es caótico debido a la falta de soluciones aerodinámicas [19].

Es importante considerar esta fuerza ya que al incrementar su valor también se aumentará la demanda de potencia del motor y por consiguiente el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

La resistencia aerodinámica [20] puede ser expresada por:

$$F_a = C_D \times A \times \frac{\rho_a}{2} \times v_v^2 \quad \text{Ec. [1.17]}$$

$F_a$ : Resistencia aerodinámica [N]

$C_D$ : Coeficiente de arrastre [adimensional]

$A$ : Área frontal [ $m^2$ ]

$\rho_a$ : Densidad del aire [ $\frac{kg}{m^3}$ ]

$v$ : Velocidad del vehículo [ $\frac{m}{s}$ ]

Tabla 1.4. Coeficientes de resistencia a la rodadura

Tipo de objeto	Coeficiente de arrastre - $C_d$ -
Coche moderno como un Tesla modelo 3 o modelo Y	0.23
Toyota Prius, Tesla modelo S	0.24
Coche deportivo, parte trasera inclinada	0,2 - 0,3
Coche común como Opel Vectra (clase C)	0.29
Descapotable, techo abierto	0,6 - 0,7
Autobús	0,6 - 0,8
Coche viejo como un T-ford	0,7 - 0,9
Camión remolcado por tractor	0.96
Camión	0,8 - 1,0
Tren de pasajeros	1.8
Motocicleta	1.8

(Fuente: [21])

### 1.4.2.3. Resistencia a la rodadura

Esta fuerza es el resultado de la interacción entre los neumáticos y la carretera, los factores de los cuales depende son: el peso del vehículo, las dimensiones, estructura y presión de inflados de los neumáticos, el tipo de pavimentación y de la velocidad del vehículo.

$$F_r = c_r mg \cos \theta \quad \text{Ec. [1.18]}$$

$c_r$ : coeficiente de resistencia a la rodadura.

Tabla 1.5. Coeficientes de resistencia a la rodadura

Coeficiente de resistencia a la rodadura	Tipo de objeto
0.001 - 0.002	Ruedas de acero de ferrocarril sobre rieles de acero
0.002 - 0.005	Neumáticos sin cámara de baja resistencia.
0.002	Neumático de bicicleta sobre hormigón
0.004	Neumático de bicicleta en carretera asfaltada
0.005	Rieles de tranvía sucios
0.006 - 0.01	Neumático de camión sobre asfalto
0.008	Neumático de bicicleta en carretera asfaltada
0.01 - 0.015	Neumáticos de coche ordinarios sobre hormigón, asfalto nuevo, adoquines pequeños nuevos
0.02	Neumáticos de coche sobre alquitrán o asfalto
0.02	Neumáticos de coche sobre grava - laminados nuevos
0.03	Neumáticos de coche sobre adoquines - grandes desgastados
0.04 - 0.08	Neumático de coche sobre arena sólida, grava suelta desgastada, suelo medio duro
0.2 - 0.4	Neumático de coche sobre arena suelta

(Fuente: [22])

### 1.4.2.4. Resistencia en pendiente

Es la influencia del ángulo de inclinación de la carretera en la componente de la fuerza gravitatoria del vehículo paralela al plano de la carretera. Esta fuerza puede actuar a favor (desciende) o en contra del movimiento (asciende). Esta resistencia se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$F_g = mg \sen(\theta) \quad \text{Ec. [1.19]}$$

## 1.5. Conducción eficiente

La conducción eficiente (Eco Driving) es un conjunto de técnicas y hábitos que permiten minimizar las emisiones contaminantes y optimizar el consumo de combustible; se basa en el control de las variables sobre las que puede actuar el conductor como: la velocidad, la marcha y la aceleración o desaceleración. [23]

Este método de reducción de los gases de efecto invernadero es muy útil ya que es independiente de la tecnología del vehículo, previene accidentes en el camino y el desgaste innecesario del vehículo. La clave del Eco Driving radica en la habilidad, actitud y aptitud



del conductor para afrontar los distintos escenarios que puedan presentarse durante la conducción.

Un conductor eficiente además de conocer y respetar las leyes de tránsito debe conducir a la defensiva, reconocer y evitar peligros en el camino, tomar buenas decisiones, tener las habilidades para conducir el vehículo en condiciones normales y de emergencia. También debe gestionar de manera adecuada la inercia del vehículo, respetar la distancia entre vehículos, no seguir a un vehículo demasiado cerca (tailgating) y evitar entrar y salir del carril para rebasar en carretera.

El Eco Driving se caracteriza por evitar aceleraciones y frenados bruscos, contrario al manejo agresivo. El manejo agresivo no reduce el tiempo de viaje y presenta mayores probabilidades de producir accidentes debido a su particular manejo errático.

Conducir eficientemente significa estar atento a las condiciones climáticas, del camino, congestión vehicular y así poder planificar rutas alternativas mediante el uso de plataformas tecnológicas que eviten el retraso en los tiempos de entrega.

#### **1.5.1. Inspección inicial**

Para asegurar el uso eficiente del combustible durante el viaje, es necesario que el conductor realice una inspección visual de los principales sistemas del vehículo para comprobar el correcto funcionamiento de estos [24]. Esta revisión debe contemplar lo siguiente:

- Niveles de líquidos: se debe revisar el nivel de combustible, del aceite del motor y dirección, refrigerante, líquido de frenos. Y además deberá verificar que no exista ningún tipo de filtración.
- Neumáticos: verificar la presión de inflado, desgastes, presencia de objetos incrustados de todos los neumáticos incluidos los de repuesto.
- Carrocería: asegurarse de que exista una correcta sujeción de alerones, acoplamientos, y los toldos que recubren la carga.

#### **1.5.2. Arranque y calentamiento del motor**

Un arranque correcto del motor permite que los componentes de este no sufran desgastes prematuros debido a la falta de lubricación o correcto bombeo de lubricante hacia las partes superiores. Además, cuando el motor no ha alcanzado su temperatura normal de operación consume más carburante, por esto se recomienda:

- Evitar llevar el motor a elevadas revoluciones, o acelerando a plena carga, hasta no haber alcanzado la temperatura óptima de funcionamiento (4 a 5 minutos en circulación o entre 20 a 25 minutos a ralentí [24]).

- No pisar el acelerador al arrancar el motor, ya que esto provocará un desajuste de la electrónica que regula el funcionamiento del motor y un desgaste prematuro de los cilindros ya que el combustible limpiaría el lubricante de estos.
- Verificar el indicador de presión de aceite antes de incrementar la velocidad del motor. Esto debe realizarse ya que al arrancar se tiene una presión alta, por la baja temperatura del lubricante la bomba requiere de más potencia para hacerlo circular. Una vez en marcha (20 segundos después de haber encendido el motor) [25], la temperatura del lubricante incrementa su temperatura y fluye con mayor facilidad, por lo que se reduce la presión en el manómetro de la bomba hasta su valor óptimo de funcionamiento.

Por estas razones la estrategia adecuada es iniciar la marcha lo antes posible, conduciendo en un régimen bajo, obteniéndose así un calentamiento del motor más rápido y uniforme, además de un ahorro de combustible.

### **1.5.3. Gestión del ralentí**

El ralentí de un motor se define como el menor número de revoluciones por minuto que este requiere para permanecer en funcionamiento de manera estable sin necesidad de accionar el acelerador mientras el vehículo no está en movimiento.

Durante el ralentí es necesario que los sistemas auxiliares continúen trabajando lo cual conlleva a un gran consumo de energía el mismo que genera grandes cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Existen tres situaciones en las cuales se puede presentar el ralentí:

- a) Calentar el motor. - Anteriormente se consideraba necesario calentar el motor del vehículo antes de conducirlo, pero con la llegada de los sistemas de inyección electrónica ya no es necesario realizar este procedimiento. Apagar y volver a encender el vehículo usa menos combustible y genera menos emisiones contaminantes que dejarlo en ralentí por más de 10 segundos [26] . En consecuencia, la EPA (Environmental Protection Agency) y la NRC (Natural Resources Canada) recomiendan no prolongar el ralentí por más de 30 a 60 segundos.
- b) Ralentí durante el tráfico. - El muchos de los casos el ralentí durante el tráfico es muy difícil de evitar tanto por razones prácticas como de seguridad. Para reducir los efectos no deseados de este tipo de ralentí se deben elegir mejores rutas, prever aceleraciones y frenadas bruscas, así como hacer uso de las nuevas tecnologías como los sistemas Start/Stop, en los cuales el motor se apaga

automáticamente cuando el vehículo se detiene y se vuelve a encender una vez que el conductor requiera volver a poner en movimiento el vehículo.

- c) Esperas con el motor encendido. - En cuanto a esperas con el motor encendido se refiere en este tipo de vehículos, los conductores tienden a mantener el motor encendido para carga y descarga de mercancías, mantener funcionando la calefacción, aire acondicionado. Prácticas que deben minimizarse por las consecuencias negativas para el medio ambiente.

#### 1.5.4. Cambio de marchas eficiente

Para realizar los cambios de marcha de manera eficiente se debe considerar las curvas características que posee un motor, estas indican cómo varía el torque, la potencia y el consumo específico de combustible en función de las revoluciones del motor, como se indica en la figura 1.17.

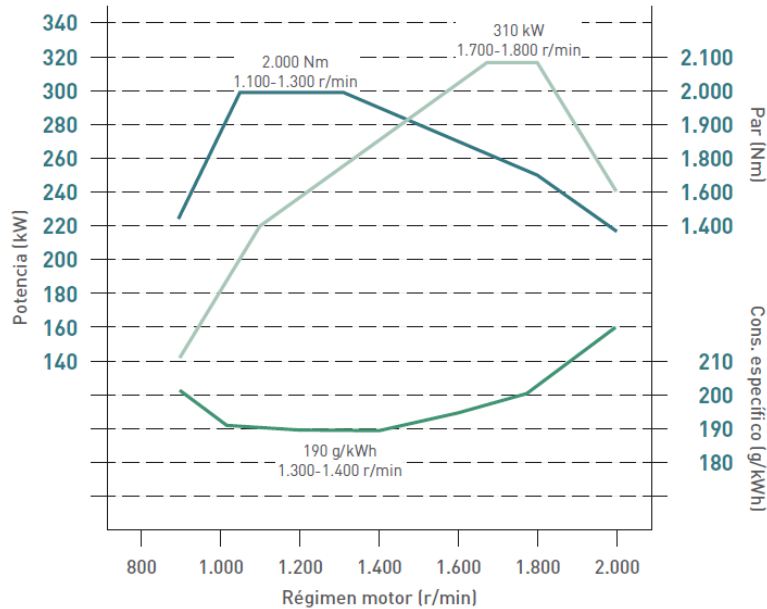


Figura 1.17. Curvas características  
(Fuente: [24])

Estas curvas son propias de cada motor, las cuales pueden ser obtenidas por el fabricante o mediante pruebas en el dinamómetro. En la figura 1.17 se muestran las curvas características de un camión [24] en las que se puede observar los intervalos donde existe mayor potencia, mayor par y el menor consumo de combustible.

Estas zonas por lo general aparecen con distintos colores en el tablero de cada vehículo en el cual se define de mejor manera la zona de conducción eficiente, como se puede ver en la figura 1.18.

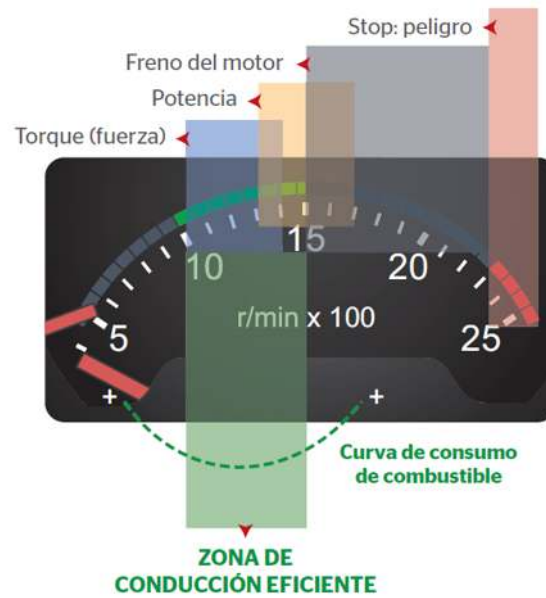


Figura 1.18. Zona de conducción eficiente.  
(Fuente: [27])

Siendo esta zona el intervalo de revoluciones para la realización de los cambios de marcha y de la circulación del vehículo de una forma eficiente, ya que considera la mejor relación entre los tres parámetros establecidos anteriormente.

La Figura 1.19 corresponde al diagrama de cambio de marchas de una transmisión manual de 14 velocidades modelo GRS905 instalada en un camión Escania R520 LA6x4ESZ, en el cual se observa la secuencia que deben seguir los cambios de marcha para conseguir un bajo consumo de combustible, la máxima potencia del motor y establece el rango de torque máximo. La línea roja describe la secuencia de cambios de marcha dentro de la zona de conducción eficiente; cada pendiente corresponde a una de las 14 marchas presentes en la transmisión antes mencionada, esta secuencia inicia con el vehículo detenido, una vez que este se encuentra en movimiento el primer cambio de marcha se realiza hasta alcanzar el máximo de RPM de la zona de conducción eficiente, al realizar el cambio a la siguiente marcha se produce una caída de RPM hasta que se retire el pie del embrague y se vuelva a acelerar, este proceso se repite hasta alcanzar la velocidad crucero una vez engranada la marcha más alta.

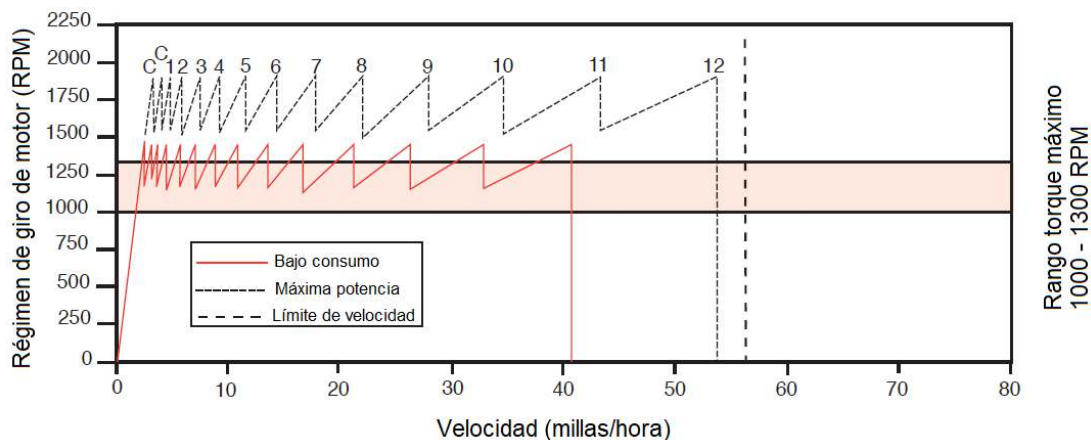


Figura 1.19. Zona de conducción eficiente.  
(Fuente: [28])

### 1.5.5. Velocidad del vehículo

La velocidad del vehículo se ve influenciada por la fuerza aerodinámica que se aplica sobre el mismo, la cual depende del área de la cabina, coeficiente de arrastre, la densidad del aire (Ec. 1.17) ya que a mayor velocidad existirá una mayor fuerza aerodinámica y por consiguiente un mayor consumo energético

Otro factor que influye sobre la velocidad son los neumáticos ya que transmiten el movimiento del motor el cual a través del tren motriz llega hasta la calzada, por lo que es necesario tener en consideración su tamaño, capacidad de carga, presión de inflado, tipo de labrado, material, coeficiente de arrastre (Ec. 1.18) así como el número total de neumáticos por vehículo; ya que, si alguno de los parámetros antes mencionados no son los adecuados aumenta la resistencia a la rodadura lo cual hace que el motor se esfuerce más para vencer el arrastre adicional obteniéndose así una reducción de la eficiencia del combustible del vehículo y un incremento de las emisiones contaminantes.

### 1.5.6. Uso del freno

Así como la aceleración consume energía para crear cantidad de movimiento, el uso del freno desperdicia esta energía y reduce la cantidad de movimiento. Debido a la topografía y las distintas condiciones del tráfico en el país, el uso del freno es imprescindible, por lo cual para minimizar las pérdidas energéticas lo que se busca es gestionar de manera adecuada la cantidad de movimiento; con una conducción a la defensiva que se anticipe a los incidentes que pueden producirse mientras el vehículo se encuentra en ruta.

El uso continuo y exagerado del freno incrementa el desgaste del vehículo, no solo en los frenos sino en otros sistemas mecánicos, así como en los neumáticos, además es peligroso ya que la distancia de frenado incrementa. Por esta razón la mayoría de los vehículos de

carga pesada vienen equipados con sistemas suplementarios de frenado que no se basan en la fricción, entre los más comunes podemos encontrar los siguientes:

- Freno de motor. - este sistema abre las válvulas de escape en los cilindros durante el ciclo de compresión, lo cual libera el aire comprimido en estos. Al utilizar este sistema, se suspende la inyección de combustible, lo que ayuda a reducir la velocidad del vehículo, las revoluciones del motor y previene que el sistema principal de frenos falle.
- Freno de escape. – es un dispositivo que reduce la velocidad del motor mediante el cierre total o parcial del conducto de salida de los gases de escape, con lo cual se produce una contrapresión tanto en el múltiple de escape como en el interior de los cilindros mediante una mariposa accionada por un solenoide, esta es comandada por un interruptor y al activarse suspende la inyección de combustible en los cilindros obteniéndose así la reducción de las revoluciones del motor [29].
- Ralentizadores hidráulicos de la transmisión. – este sistema cuenta con dos ruedas tipo turbina que se encuentran enfrentadas (rotor montado sobre el cardán y estator o cuerpo del retardador), el frenado se logra cuando el aceite ingresa al conjunto retardador a una presión determinada, al mismo tiempo que el aceite es acelerado por el rotor es desacelerado por el estator lo cual reduce la velocidad del eje de salida de la transmisión [30].
- Ralentizadores electromagnéticos de la transmisión. – en este tipo de ralentizador se crea un campo magnético por medio de los electroimanes ubicados en un estator que hacen que se frenen los rotores que van montados sobre el eje de salida de la transmisión reduciendo así la velocidad del vehículo [31].

#### **1.5.7. Uso eficiente del aire acondicionado**

El aire acondicionado es un sistema auxiliar del vehículo, el cual se encarga de mantener una temperatura confortable en la cabina del vehículo de acuerdo con el requerimiento de los usuarios [29]. Este al ser accionado activa el embrague electromagnético del compresor lo cual genera una mayor carga en el motor, por lo que, para hacer uso eficiente de la energía, se recomienda lo siguiente:

- Evitar abrir las ventanas cuando el aire acondicionado está funcionando.
- Utilizarlo en la función de recirculación interna ya que es más eficiente recircular el aire que ya ha sido tratado dentro de la cabina que enfriar constantemente el aire del exterior.
- Mantener el vehículo frío, en lo posible evitar parquearlo en lugares donde reciba directamente la radiación solar. Ya que para volver a alcanzar una temperatura

confortable dentro de la cabina el aire acondicionado consumirá una mayor cantidad de energía.

- Al ingresar a un vehículo con una temperatura de cabina elevada se recomienda primero abrir las ventanas y encender el ventilador sin accionar el aire acondicionado; para que el aire caliente abandone el vehículo con mayor facilidad.

Debe revisarse periódicamente el estado del aire acondicionado para asegurar un funcionamiento adecuado y evitar pérdidas energéticas y gastos innecesarios de combustible.

### **1.5.8. Adaptación a las condiciones ambientales**

Las condiciones ambientales tales como el viento y la lluvia pueden aumentar la resistencia al avance del vehículo con lo cual también se incrementa el consumo de combustible y las emisiones contaminantes. Ventajosamente existen varias estrategias que ayudan a mitigar este tipo de pérdidas energéticas.

Un viento en contra puede producir un aumento de combustible ya que se aumenta la resistencia del aire lo cual provoca que el motor trabaje más. Un viento cruzado tiene consecuencias similares, pero por una razón diferente, el aire pasa transversalmente disminuye la efectividad de los dispositivos utilizados para reducir la resistencia aerodinámica como los deflectores en la cabina y faldones laterales. La mejor manera de contrarrestar los efectos del viento en el aumento en el consumo de combustible es simplemente reducir la velocidad.

## **1.6. Optimización de rutas**

La optimización de rutas (Eco Routing) es una forma de identificar la ruta más eficiente entre dos puntos, cuyo objetivo es minimizar el consumo de combustible y reducir las emisiones contaminantes en un viaje determinado. Para conseguir esto, se deben considerar los siguientes aspectos [32]:

- Elección de la ruta: conocidos el punto de embarque y de entrega de la carga a transportarse, se procederá a seleccionar la ruta que presente el menor número de kilómetros, así como la congestión vehicular a la hora de realizar el trayecto considerando también las condiciones orográficas del camino ya que esto también influyen en el consumo de combustible.
- Elección del vehículo: conocida la ruta a seguir se procederá a seleccionar el vehículo que cumpla con los requisitos para transportar la carga de manera correcta, además la logística de la empresa deberá seleccionar el vehículo más

cercano al punto de embarque para evitar que el vehículo recorra kilómetros descargado.

- Tasa de ocupación: se pretende que el vehículo opere con una tasa de ocupación cercana al 100%. Para que dicha tasa sea siempre alta, la empresa deberá gestionar la entrega y recolección de cargas intermedias; evitando gastos operacionales (combustible, repuestos, neumáticos, etc.) nocivos para el medioambiente.

## **1.7. Mantenimiento**

El mantenimiento de los vehículos es un factor relevante del sector del transporte de carga pesada por carretera, por lo que, en la actualidad, todas las flotas mantienen sus vehículos para garantizar un rendimiento seguro y fiable; con un adecuado mantenimiento se logra evitar consumo excesivo de combustible.

En nuestro país los vehículos de carga pesada están obligados a realizar dos veces en el año la Revisión Técnica Vehicular (RTV), la cual contribuye con la conservación del medio ambiente mediante el control de emisiones además que permite optimizar el consumo energético al mejorar el estado del vehículo [33]. Por lo que es necesario implementar un programa estructurado de mantenimiento preventivo, con técnicos y herramientas cualificados, lo que permite obtener una reducción considerable de las emisiones contaminantes, así como un ahorro de combustible.

Los sistemas y componentes más comunes que al realizar un programa estructurado de mantenimiento preventivo influyen en el consumo de combustible son los siguientes [34]:

- Lubricantes.
- Sistemas de admisión y escape.
- Sistema de refrigeración.
- Compresores de aire.
- Alineación de ruedas.
- Neumáticos.
- Filtro de combustible.
- Dispositivos aerodinámicos.
- Sistemas eléctricos.
- Aire Acondicionado.

### **1.7.1. Lubricantes**

Los lubricantes utilizados en motores y en la transmisión son los encargados de reducir la fricción, disminuir la temperatura, brindar una protección química de las piezas lubricadas,



limpiar y arrastrar contaminantes, sellar los espacios entre pistón y cilindro y amortiguar los ruidos del motor.

El cambio de aceite según los intervalos indicados por el fabricante y la selección de un lubricante que se adapte a las condiciones de funcionamiento del vehículo mejora el ahorro de combustible o de lo contrario pueden presentarse los siguientes inconvenientes:

- Pérdidas de aceite y de giro si se sobrepasar los niveles de aceite recomendados.
- Aumento del consumo energético cuando se utiliza un aceite de mayor viscosidad que el recomendado, se aumenta el consumo de combustible ya que cuanto más espeso es el aceite, más energía se necesita para bombearlo por el motor.
- Falta de protección en función de la temperatura, la elección de un aceite muy fino puede no ser posible para las distintas condiciones climáticas, ya que el aceite tiene que ser lo suficientemente viscoso para que no pierda sus propiedades.

Para realizar el mantenimiento de los aceites de motor y lubricantes, se deben seguir los intervalos de cambio recomendados por el fabricante, además de realizar un análisis periódico del aceite para evaluar su estado, así como el del motor. La supervisión del estado del aceite garantiza que tenga la viscosidad y el número de base total apropiados. Todas estas recomendaciones evitan el desgaste innecesario del motor, el aumento de las emisiones GEI y el consumo de combustible.

### 1.7.2. Sistema de admisión y escape

En cuanto al rendimiento energético es necesario considerar el trabajo mecánico realizado por el pistón contra los gases durante los procesos de admisión y escape (renovación de carga) lo cual se conoce como pérdidas de bombeo.

En la figura 1.20 se muestra el diagrama presión-volumen con la evolución de los procesos de admisión y escape, lo cual se conoce como lazo de bombeo, y el área encerrada entre dicho lazo que representa el trabajo de bombeo.

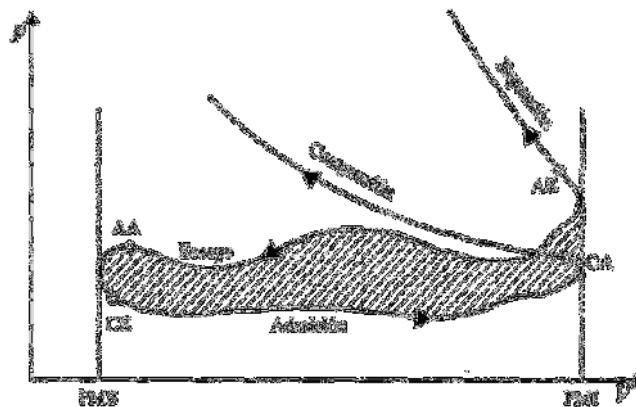


Figura 1.20. Pérdidas de bombeo.

(Fuente: [35])

- Pérdidas de carga en el sistema de admisión. - Estas están condicionadas por la resistencia ofrecida al paso del aire; por lo que las conexiones de entrada de aire incluyendo el filtro y los refrigeradores de aire de carga deben mantenerse y limpiarse periódicamente para evitar el ingreso de partículas al interior del motor, las cuales causarían un desgaste prematuro en el mismo; además si el filtro llegara a taparse, la cantidad de aire que ingresa al motor se reduce, lo que hace que el motor trabaje más y de forma menos eficiente. Esta falta de aire hará que accesorios como el turbocompresor se someta a un esfuerzo mayor para suministrar al motor el aire que necesita para funcionar.
- La contrapresión de los gases de escape se da cuando existe una restricción de estos al pasar de una presión más alta a una más baja; esto puede convertirse fácilmente en un problema del motor, debido a que el sistema de combustible deberá realizar mayor trabajo, consumiendo combustible adicional y restando potencia al motor. Los gases de contrapresión son el resultado de un escape mal doblado, un tubo en "Y" que ha cerrado o restringido el flujo de los gases de escape, un silenciador con deflectores rotos. Además de los inconvenientes mencionados también puede aumentar la temperatura de funcionamiento, reducir la presión de sobrealimentación del colector de admisión, causar problemas con los turbocompresores e incluso provocar daños en las válvulas y los cilindros.

### **1.7.3. Sistema de refrigeración**

Para un mejorar el rendimiento, las prestaciones y las emisiones de un motor de combustión interna se busca que el mismo opere a la mayor temperatura posible, esto reduce la transferencia de calor desde el gas a las paredes de la cámara de combustión, con lo cual se tendría una mayor energía para producir trabajo mecánico [35].

Debido a que la temperatura en la cámara de combustión alcanza valores próximos a los  $2427^{\circ}\text{C}$  es necesario que el sistema de refrigeración disipe el calor para evitar que la dicha temperatura alcance la resistencia térmica de los componentes del motor, así como la del lubricante lo cual conllevaría a daños catastróficos en el motor [36].

El sistema de refrigeración debe consumir la mínima potencia posible, de forma que su funcionamiento no penalice ni el consumo de combustible ni las prestaciones del motor; una de las principales causas del incremento de consumo de combustible se da cuando el ventilador funciona más tiempo del que debería, esto puede deberse a: un embrague de ventilador en mal estado, un sensor de temperatura defectuoso, un nivel bajo de refrigerante.

#### 1.7.4. Compresores de aire

En el sistema de frenado de los vehículos pesados, el compresor de aire es un elemento indispensable, su función es mantener la presión de aire del sistema entre los niveles mínimo y máximo preestablecidos.

El compresor de aire se encarga de suministrar aire a los tanques de almacenamiento, se conecta al motor a través de engranajes o correas, este puede ser enfriado por aire o por el sistema de refrigeración del motor.

Los ciclos de trabajo altos y frecuentes pueden causar condiciones que afectan al sistema de carga de los frenos de aire; lo cual incidirá el funcionamiento normal del motor, dando como resultado un aumento de consumo de combustible y de las emisiones contaminantes.

#### 1.7.5. Alineación de ruedas

El objetivo de la alineación es reducir el desgaste de los neumáticos y mantener las ruedas del vehículo en la dirección correcta, la falta o una mala alineación (convergencia, divergencia, camber y caster) aumenta la resistencia a la rodadura, el desgaste de los neumáticos y el desgaste prematuro de piezas de la suspensión; lo cual hace que el motor se esfuerce más para vencer el arrastre adicional obteniéndose así una reducción de la eficiencia del combustible del vehículo y un incremento de las emisiones contaminantes.

La alineación de las ruedas delanteras de los vehículos de carga pesada es sumamente importante ya que las ruedas traseras de los ejes tándem tienen que seguir su camino. Los ejes tándem desalineados harán que el camión sea empujado o arrastrado fuera de su recorrido en línea recta (figura 1.19).

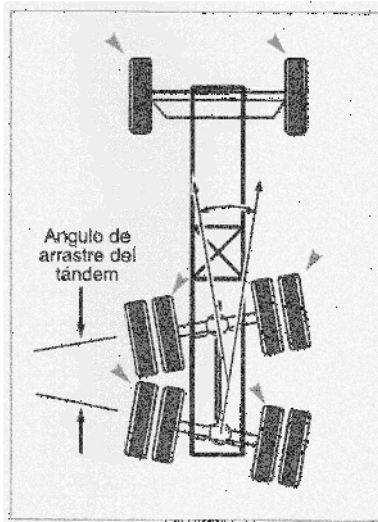


Figura 1.21 Ángulo de arrastre del tándem.  
(Fuente:[30])

### **1.7.6. Neumáticos**

Los neumáticos al ser los elementos finales del tren motriz cumplen un papel fundamental en cuanto a eficiencia energética se refiere, así como otras características como el confort en el manejo, estabilidad, aceleración, frenado y manejabilidad. Por lo cual se deben realizar las siguientes inspecciones periódicas:

- La presión de inflado es el aspecto más crítico del mantenimiento de un neumático es la presión de aire correcta, ya que existe una relación directa entre la baja presión de los neumáticos y la reducción del kilometraje de combustible; esto se debe al aumento de la energía cinética utilizada para vencer la resistencia a la rodadura.
- Se debe revisar la apariencia de los neumáticos, si presentan algún corte o protuberancia producto de un golpe o algún agrietamiento.
- Revisar si existen objetos incrustados en la banda de rodadura o entre los neumáticos duales, estos pueden causar serios daños estructurales en los neumáticos, si no se retiramos a tiempo.

### **1.7.7. Filtro de combustible**

Las impurezas presentes en el combustible (sedimentos) afectan tanto al rendimiento del motor como al ahorro de combustible; debido a que el flujo restringido hará que la bomba de combustible y el motor trabajen más para producir la potencia deseada. Si dichas impurezas no se eliminan antes de entrar al sistema de combustible del motor, puede causar erosión dentro de la bomba de combustible, obstrucción de los inyectores y, en el peor de los casos, la erosión por abrasión en los cilindros.

Los filtros obstruidos también pueden causar acumulación excesiva de calor lo cual puede dañar la bomba de combustible y los sistemas de inyectores.

Los sistemas de combustible de los vehículos actuales poseen tolerancias mucho más estrictas que antes, es decir que una pequeña cantidad de contaminación en el sistema puede tener un gran impacto en los inyectores de combustible y, en consecuencia, perjudicar la eficiencia energética.

### **1.7.8. Dispositivos aerodinámicos**

Son aquellos que se colocan en la parte exterior del vehículo con el objetivo de reducir el arrastre aerodinámico, estos pueden ubicarse tanto en la cabeza tractora como en el remolque, con extensores de cabina, faldones de remolque, cubiertas de rueda, extensores de cola de remolque.



Figura 1.22. Dispositivos aerodinámicos.  
 a) deflector superior b) reductor de espacios c) faldones laterales d) carenado posterior  
 (Fuente: [37])

Pero para que estos dispositivos aerodinámicos funcionen, deben estar correctamente instalados y sin daños. Por lo que se deben realizar inspecciones periódicas.

### 1.7.9. Sistemas eléctricos

La correcta operación del sistema eléctrico depende del buen funcionamiento de sus componentes, uno de los elementos principales es el alternador, el cual produce corriente alterna a través de un mecanismo que está conectado al giro del motor de combustión mediante una correa, esta recarga la batería para que las misma pueda suministrar corriente a todos los sistemas eléctricos que lo requieran, como la iluminación, la climatización y los ventiladores.

Un mal mantenimiento de estos sistemas representa un consumo adicional de combustible y mayores emisiones contaminantes, por ejemplo: si un sistema de carga tiene baterías débiles o incorrectas, el alternador trabajará más para intentar mantener las baterías a plena carga; esta carga adicional puede afectar negativamente al ahorro de combustible.

### 1.7.10. Aire Acondicionado

Como se indicó en el apartado 1.5.7 el aire acondicionado es una carga mecánica adicional al motor. Un sistema de aire acondicionado defectuoso puede ocasionar que el ventilador tenga que funcionar con más frecuencia, lo que supone un mayor consumo de combustible; por lo que se deben mantener limpias las bobinas del condensador y del evaporador, revisar el estado de la correa de transmisión y mantener el nivel de refrigerante en el nivel adecuado. Si el nivel de refrigerante en el sistema de aire acondicionado es bajo, el compresor de A/C permanecerá activado con más frecuencia y durante más tiempo en un intento de mantener la demanda de temperaturas más bajas en la cabina.

## 2. METODOLOGÍA

Una vez realizada la caracterización del parque automotor y revisado los beneficios para la reducción de las emisiones contaminantes mediante la conducción eficiente, la optimización de rutas y el mantenimiento transporte pesado de carga por carretera; es necesario conocer las experiencias de otros países y regiones en las cuales se han establecido programas tanto de manera obligatoria como voluntaria para mejorar el desempeño energético de estos vehículos.

Con la ayuda de estos programas se seleccionarán los parámetros necesarios, que se adapten a la realidad del parque automotriz nacional y así elaborar el protocolo para el uso eficiente de la energía en el transporte pesado de carga por carretera en el Ecuador y su impacto en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### 2.1 Programas de transporte ecológico

Los programas de transporte ecológico (Green Freight Programs), son un conjunto de soluciones tecnológicas y prácticas que buscan reducir substancialmente las emisiones de material particulado y de CO<sub>2</sub> en el transporte de carga pesada por carretera.

Tabla 2.1. Visión general de los programas de transporte ecológico.

Programa (Entidad)	País / Región	Sector	Elementos clave
SmartWay (Environmental Protection Agency)	Estados Unidos	Alianza público - privada	D, G, TV, B
SmartWay Canada (Natural Resources Canada)	Canadá	Alianza público - privada	D, G, B
Transporte Limpio (Secretary of Environment and Natural Resources)	México	Alianza público - privada	D, G
Green Freight Europe (European Shippers Council; Dutch Shippers Council)	Europa	Dirigidos por la industria	D, G
Objectif CO2 (Ministry of Ecology; Agency of the Environment and Energy Management)	Francia	Alianza público - privada	D, G
Lean and Green (Connekt)	Holanda	Sin fines de lucro	D, G, B
Logistics Carbon Reduction Scheme (Freight Transport Association)	Reino Unido	Dirigidos por la industria	D, G
Freight Best Practice (Department for Transport)	Reino Unido	Alianza público - privada	D, G
Green Freight Asia	Asia	Sin fines de lucro	D, G, B
Green and Smart Transport Partnership (Korea Energy Management Corporation)	Corea	Dirigidos por la industria	D, G
Green Logistics Partnership (Tokyo Metropolitan Government)	Tokio	Alianza público - privada	D, G
China Green Freight Initiative (China Road Transport Association; Ministry of Transport; Clean Air Asia)	China	Alianza público - privada	D, G, B

“Elementos clave”: D = Recolección de datos y estudio de mercado; G = guía de tecnologías y buenas prácticas operacionales;

TV = verificación tecnológica; B = gestión de marca

(Fuente: [38])

Estos programas además cuentan con planes de acción, aplicables tanto al sector público como al privado en los cuales se reconocen los esfuerzos de las empresas por cumplir con los objetivos previstos. Se basan en el ahorro de combustible, lo que a su vez supone una reducción de los costos operativos.

Existen varios programas de transporte ecológico de mercancías en todo el mundo que se encuentran en distintas fases de desarrollo, como se puede apreciar en la tabla 2.1 [38].

A pesar de que cada país o región ha establecido sus propios programas de transporte ecológico, existen varias características comunes orientadas al éxito del programa, tales como:

- Participación de las partes interesadas.
- Administración confiable e imparcial.
- Un sistema de recolección y evaluación de datos.
- Guía de tecnologías y buenas prácticas operativas.
- Reconocimiento público e incentivos.

Uno de los primeros países en establecer normas de ahorro de combustible para vehículos pesados fue Japón, como parte del compromiso del país con el Protocolo de Kioto. Estas normas exigían una mejora del ahorro de combustible del 12% para 2015 [32], por lo que el gobierno japonés optó por medir dicho ahorro a través de las siguientes pruebas: consumo de combustible del motor, simulación del cambio de marchas y simulación de cargas de resistencia del vehículo.

A estos esfuerzos por reducir las emisiones contaminantes les siguieron Estados Unidos y Canadá, los cuales han implementado normativas muy similares a las japonesas, pero tomando en consideración algunos parámetros adicionales en las simulaciones de consumo de combustible como la eficiencia de los neumáticos, dispositivos aerodinámicos y la reducción de peso.

Para que un modelo de vehículo de carga pesada pueda ser comercializado en China, el vehículo a homologar debe ser evaluado en un dinamómetro o los fabricantes pueden presentar los resultados de simulaciones oficiales para obtener su certificación; en la Unión Europea se ha trabajado en una metodología orientada al control del consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>. en la cual se desarrolló de una herramienta de simulación que considera distintos ciclos de manejo, configuraciones de tren motriz, la aerodinámica del vehículo.

En la siguiente tabla se puede observar los distintos métodos de prueba o metodología utilizados por los distintos programas de conducción eficiente:

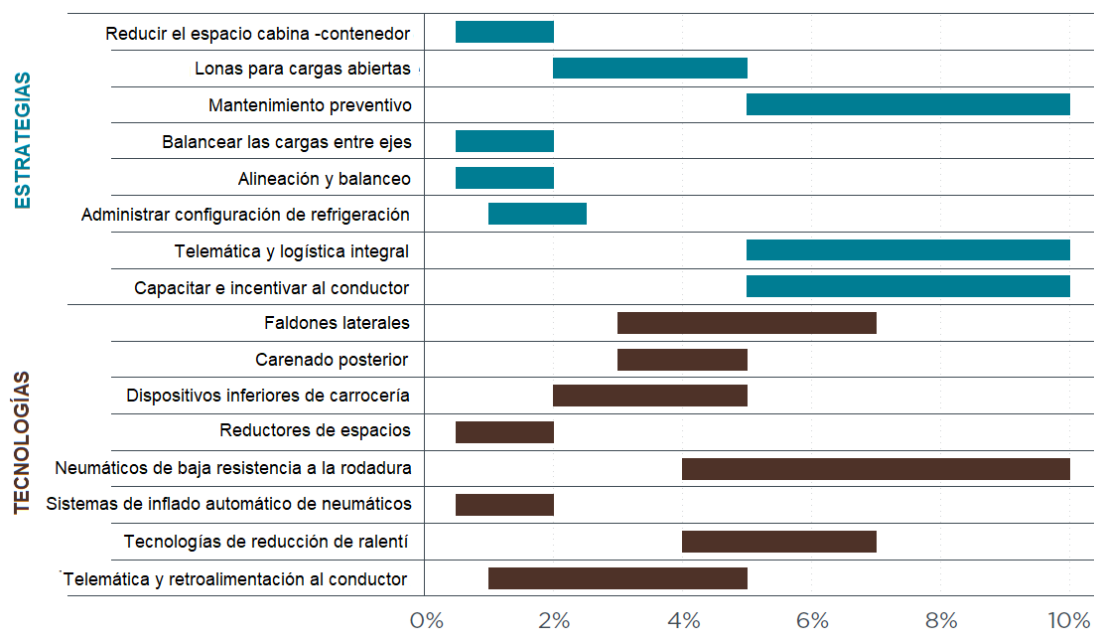
Tabla 2.2. Descripción de los métodos de prueba.

<b>Método de prueba</b>	<b>Descripción</b>
Dinamómetro de chasis	El vehículo se monta sobre uno o varios rodillos, de tal modo que las ruedas motrices puedan girar para así simular el manejo a distintas velocidades, además el equipo de prueba imparte varias cargas para poder simular la resistencia a la rodadura y el arrastre aerodinámico mediante un ciclo de manejo.
Dinamómetro de motor	Esta prueba mide el torque y potencia del motor directamente del cigüeñal para ofrecer una aproximación del funcionamiento de este en el vehículo.
Dinamómetro de tren motriz	El funcionamiento es similar al dinamómetro de motor, pero la medición del torque y potencia se realiza a la salida de la transmisión acoplada al motor.
Simulación	Se utilizan programas para predecir el consumo de combustible y las emisiones de CO <sub>2</sub> bajo varias condiciones de operación, siempre y cuando los parámetros y variables estén correctamente definidos.
Prueba de ruta	Mide el comportamiento del vehículo en condiciones reales de manejo bajo ciertos parámetros de aceleración, velocidad y frenado definidos por el ciclo de manejo.

(Fuente: [38])

En la tabla 2.3 se enumeran las principales soluciones encontradas por los programas de transporte ecológico y el porcentaje de reducción de consumo de combustible

Tabla 2.3. Reducción de combustible en el transporte ecológico.



(Fuente: [38])



## 2.2 Análisis estadístico de datos

Para definir los parámetros que serán utilizados en el protocolo, es necesario analizar los siguientes factores que influyen el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>:

- Soluciones tecnológicas del vehículo.
- Conducción eficiente.
- Logística integral.
- Mantenimiento.

### 2.2.1. Soluciones tecnológicas del vehículo

Existen soluciones tecnológicas que pueden ser implementadas en el transporte de carga pesada por carretera ya sea de manera individual o una combinación de varias, las cuales pueden suponer una diferencia notable en el campo de la eficiencia energética.

#### 2.2.1.1. Soluciones aerodinámicas

Como se especificó en 1.4.2.2. para reducir el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>, es necesario reducir la resistencia aerodinámica. Debido a que los vehículos de carga pesada por carretera poseen una geometría que imposibilita conseguir una forma aerodinámica ideal, muchos fabricantes utilizan en sus modelos dispositivos aerodinámicos externos los cuales permiten reducir la resistencia aerodinámica. Estos son: los deflectores montados en la cabina, el carenado en la parte delantera y en los extremos del remolque y los faldones laterales del remolque.

Se debe considerar que los beneficios de los dispositivos aerodinámicos en cuanto a reducción de consumo de combustible, cuando el vehículo circula a velocidades menores de 60 km/h no son significativos [39].

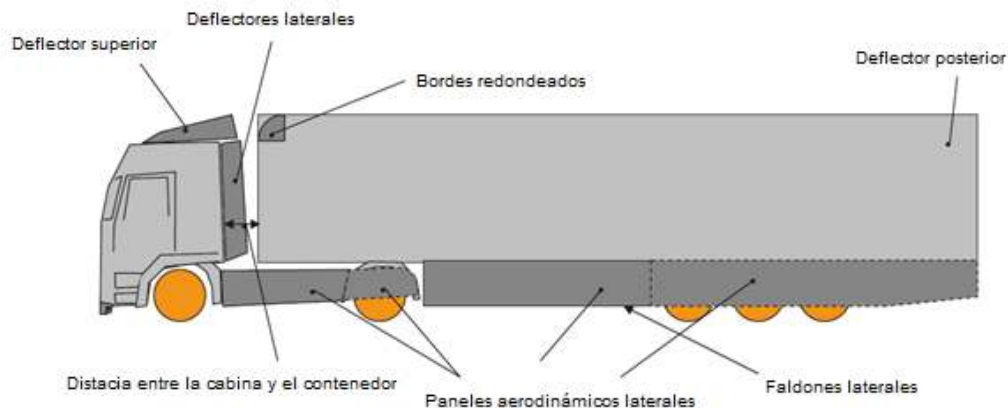


Figura 2. 1. Dispositivos aerodinámicos  
(Fuente: [40]).

### 2.2.1.1.1. Deflector superior:

Es un complemento comúnmente utilizado en vehículos de transporte pesado por carretera cuando existe una diferencia de altura significativa entre la cabina y el contenedor, el cual puede ser fijo o de altura ajustable.

Reduce la resistencia aerodinámica dirigiendo el flujo de viento hacia el contenedor, reduciendo así la separación del flujo entre la cabina y el contenedor.



Figura 2. 2. Influencia del viento en la cabina de un camión  
(Fuente: [41]).

En el estudio realizado por Marella [42] en el cual se indican los beneficios de instalar un deflector superior ajustable, posicionado en su punto más alto, se alcanza una reducción del 37% en el coeficiente de resistencia aerodinámica con respecto a un vehículo sin deflector. Con lo cual se consigue un 6,35% de mejora en el ahorro de combustible. Por lo tanto, instalar un deflector de techo ajustable reducirá la resistencia aerodinámica y garantiza la optimización para las diferentes alturas de los contenedores.

### 2.2.1.1.2. Faldones laterales:

Estos dispositivos aerodinámicos cubren el espacio inferior entre las ruedas delanteras y traseras de un vehículo, se caracterizan por ser paneles planos fijados a los costados del contenedor. [43]

Según Bae Geun [43] se han realizado varios estudios en los que se han encontrado dos tipos de faldones laterales que reducen el coeficiente de resistencia aerodinámica. Estos son los de tipo recto y del tipo plegado, como se observa en figura 2.3.

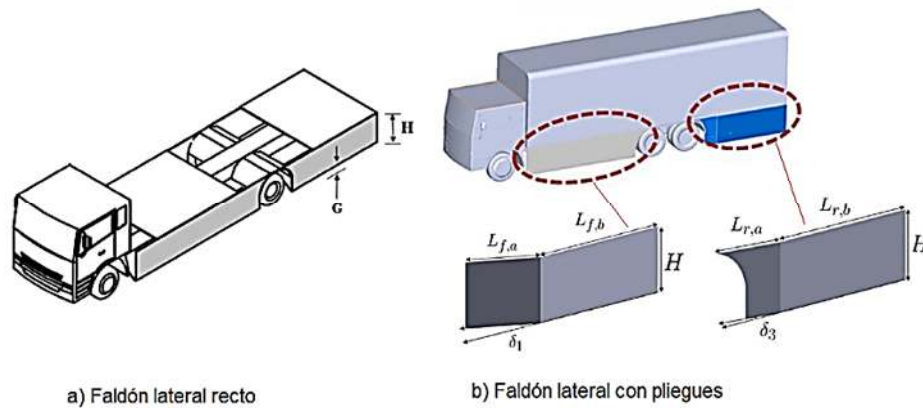


Figura 2. 3 Tipos de faldones laterales  
(Fuente: [43])

Con el uso de estos dispositivos aerodinámicos se alcanza una reducción del coeficiente de resistencia aerodinámica del 3.1% para los faldones rectos y del 6.1.% para los faldones laterales con pliegues.

De acuerdo con ICCT [44], con el uso de faldones laterales se alcanza una reducción de consumo de combustible promedio de entre 3% a 5% llegado en algunos casos a una reducción máxima de 7%. En la tabla 2.4 se ejemplifica el cálculo del ahorro de combustible anual con el uso de faldones laterales (considerando los datos del recorrido anual de un vehículo de carga pesada por carretera y el costo del combustible en los Estados Unidos).

Tabla 2.4. Ahorro de combustible anual con el uso de faldones laterales.

	Inversión alta, ahorro 3%	Inversión alta, ahorro 7%	Inversión baja, ahorro 3%	Inversión baja, ahorro 7%
Millas anuales	35000 millas			
Eficiencia inicial	6.5 mpg (15.4 gal / 100 millas)			
Consumo anual de combustible	5385 gal			
Precio diésel	\$3.75			
Ahorro de combustible	3%	7%	3%	7%
Ahorro de combustible	162 gal	377 gal	162 gal	377 gal
Ahorro de combustible (\$)	606	1413	606	1413
Costo dispositivo aerodinámico	\$1 100		\$700	
Retorno de la inversión	22 meses	9 meses	14 meses	6 meses

(Fuente: [44])

### 2.2.1.1.3. Carenado posterior:

Otro dispositivo que se utiliza para reducir la resistencia aerodinámica es el carenado posterior (boat tail), el cual es una extensión flexible o retráctil del contenedor que va estrechando la sección de este lo cual permite una reducción de la estela en la parte trasera del vehículo [45], como se puede apreciar en la figura 2.4.

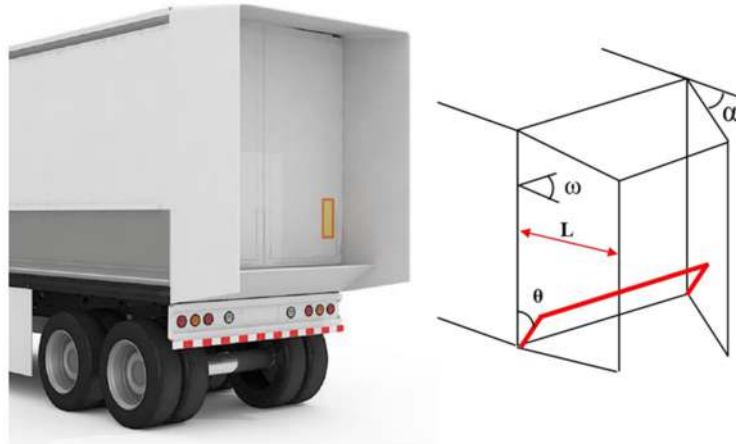


Figura 2. 4 Tipos de faldones laterales  
(Fuente: [46])

En el estudio realizado por Eui Jae Lee [46] se ve la reducción de la resistencia aerodinámica al utilizar el carenado posterior, para este caso implemento varias configuraciones de las cuales el carenado posterior de tres lados con un deflector inferior inclinable (LIAD) con un ángulo de  $45^\circ$  alcanzó una reducción del 9.03% con respecto a un vehículo sin este dispositivo aerodinámico. Los resultados de este estudio se muestran en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Reducción resistencia aerodinámica, carenados posteriores.

	Configuración	Cd	$\Delta C_d$
	Sin carenado posterior	0.709	-
	Carenado posterior de tres lados	0.663	6.49%
	Carenado posterior de cuatro lados	0.651	8.18%
Eui Jae Lee - Sang Joon Lee	Carenado posterior de tres lados con LIAD		
	$\theta = 30^\circ$	0.65	8.32%
	$\theta = 45^\circ$	0.645	9.03%
	$\theta = 60^\circ$	0.647	8.74%
Ortega (2013)	Carenado posterior de tres lados	0.671	5.36%

(Fuente: [46])

Con esta reducción de coeficiente de resistencia aerodinámica se consigue disminuir en un 2.7% del consumo de combustible [47].

#### 2.2.1.1.4. Reductores de espacios:

Estos dispositivos, como su nombre lo indica, sirven para compensar las pérdidas asociadas a las interrupciones del flujo y las diferencias de presión que se crean en el espacio entre la cabina y el remolque [44]. En la figura 2.5 se observa la disminución en el coeficiente de resistencia aerodinámica al utilizar este tipo de dispositivos.

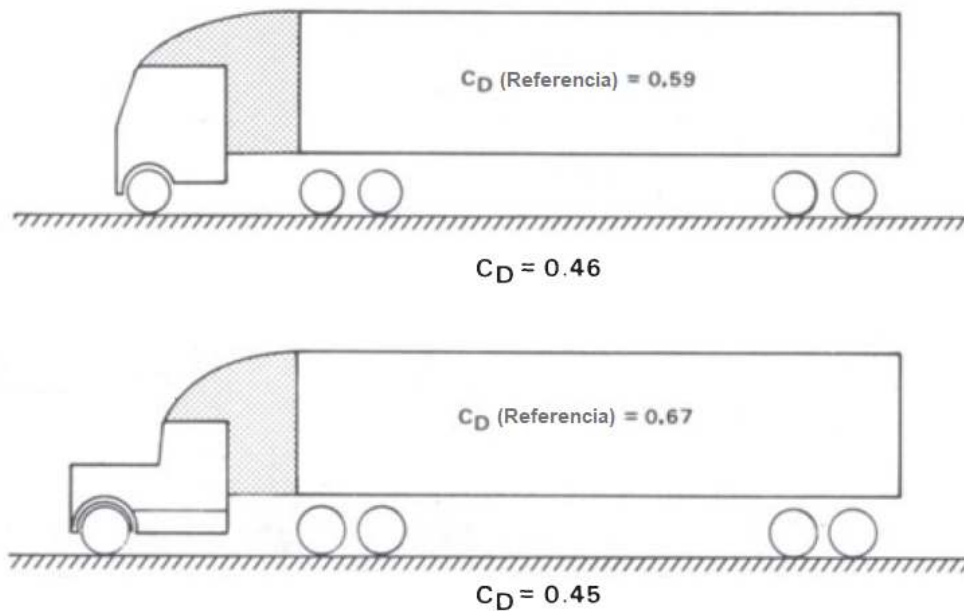


Figura 2. 5 Reductores de espacio entre cabina y contenedor  
(Fuente: [48])

En el estudio realizado por Landman [49] se puso a prueba los reductores de espacio en un túnel de viento a una velocidad de 65 mph obteniéndose una reducción del coeficiente de resistencia aerodinámica del 5.8% lo cual significa una mejora en el consumo de combustible aproximada del 3% [50].

### 2.2.1.2. Neumáticos de baja resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura de los neumáticos es la energía consumida por unidad de distancia de recorrido cuando el neumático está sometido a una carga. Los neumáticos, al ser los elementos finales en el tren motriz del vehículo, son los que transmiten la fuerza de tracción y el par motor correspondiente hacia la superficie de contacto, dando como resultado el movimiento del vehículo.

El material con el cual son fabricados principalmente es el caucho, material viscoelástico que, al deformarse almacena parte de la energía y disipa el resto en forma de calor [51], como se ilustra en la figura 2.6.

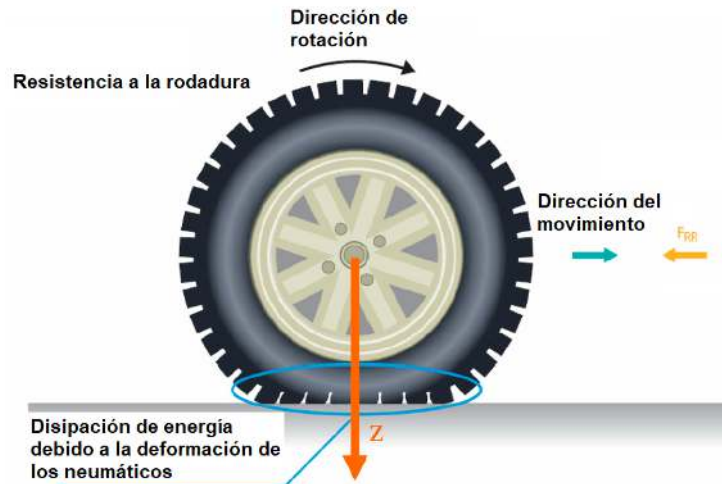


Figura 2. 6 Disipación de energía debido a la deformación de los neumáticos.  
(Fuente: [52])

Estas pérdidas son irrecuperables y contribuyen a la fuerza total de arrastre en un vehículo en movimiento. La resistencia a la rodadura desempeña un papel fundamental en el consumo de combustible de los vehículos de transporte pesado por carretera ya que entre el 15 y 30% de la energía del combustible se consume para superar la resistencia a la rodadura en estos vehículos [53].

Para un neumático determinado, el coeficiente de resistencia a la rodadura depende de temperatura, el desgaste de la banda de rodadura, la velocidad, la presión de inflado, la alineación de las ruedas y la tecnología del mismo.

De acuerdo con EPA y NHTSA con una mejora del 10% en la resistencia a la rodadura se reducen las emisiones de  $\text{CO}_2$  en un 1.9% [54].

De manera similar en el trabajo realizado por Barrant and Bokar, se comprobó que una reducción aproximada del 10 % del coeficiente de resistencia a la rodadura tiene como consecuencia una reducción del 1.4% de las emisiones de  $\text{CO}_2$  [52].

En el trabajo realizado por el ICCT, en el cual se trata la influencia de la resistencia a la rodadura sobre las emisiones de  $\text{CO}_2$ , se concluye que una reducción del 10% de dicho coeficiente se traduce en una disminución de entre 1.5 a 2% de las emisiones de  $\text{CO}_2$  [55].

Con lo cual se alcanza una reducción de la resistencia a la rodadura de 15% y un ahorro de combustible del 5% [56].

### 2.2.2. Conducción eficiente

Aunque el rendimiento de los vehículos ha mejorado rápidamente gracias a los avances tecnológicos, el factor humano y sus hábitos de conducción siguen siendo determinantes en cuanto al consumo de energía se refiere. La conducción eficiente permite a los

conductores tomar decisiones estratégicas, tácticas y operativas; lo que contribuiría a limitar el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> [57].

La conducción eficiente se basa en cuatro modos de manejo: aceleración, desaceleración, velocidad crucero (constante) y ralentí como se observa en la figura 2.7 con sus respectivos porcentajes de reducción de combustible.

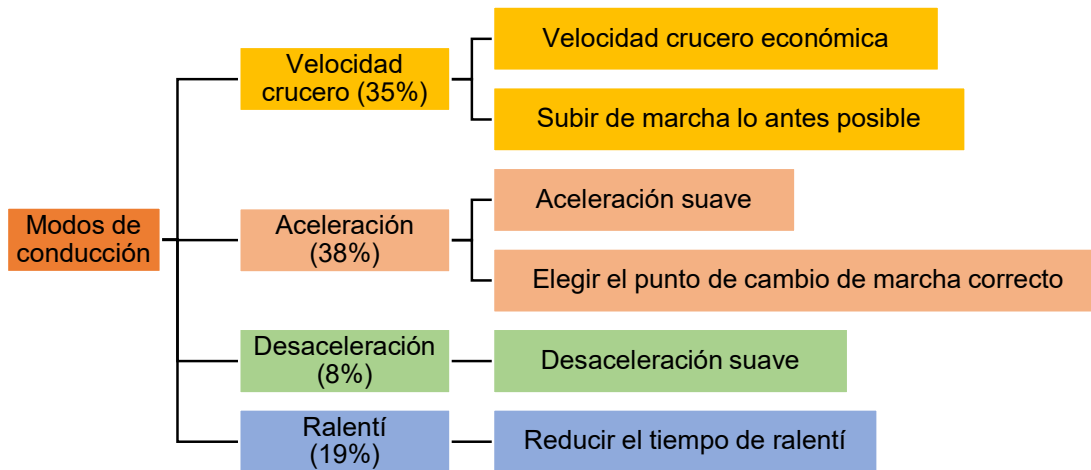


Figura 2. 7 Principales modos de conducción eficiente.  
(Fuente: [58])

En cuanto a la conducción eficiente de vehículos de transporte pesado por carretera se han realizado varios estudios en Europa, Asia, Australia y Norte América, los cuales muestran ahorros en el consumo de combustible que van desde el 5% al 40% [59].

En todos estos estudios se capacitó a los conductores a través de clases individuales y grupales, uso de simuladores y otras técnicas de retroalimentación; las cuales fueron evaluadas tanto en pruebas de ruta como en simulador, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 2.6.

### 2.2.3. Optimización de rutas

Se han realizado varios estudios en los cuales se ha demostrado la importancia de la optimización de rutas para minimizar el consumo energético en un determinado trayecto. Los sistemas de navegación proveen mejor información sobre la ruta más corta, en comparación a los métodos tradicionales como mapas se evita pérdidas de tiempo al evitar giros innecesarios o elección de rutas más largas lo cual según Lee y Chen [60] corresponde a un tiempo de viaje 16% mayor en el cual se recorre un 7% más de camino. Mediante la utilización de estos sistemas se alcanza una reducción del 12% de ahorro de combustible [61].

La elección de ruta es un parámetro fundamental, no es suficiente conocer la trayectoria más corta sino también el estado del tráfico, ya que el mayor consumo de combustible se da cuando los vehículos de carga pesada por carretera permanecen detenidos a causa del

tráfico. La elección de la ruta nos permite mejorar en 46% la eficiencia del combustible en los viajes alcanzando un ahorro del 8.2% [62].

El peso es un factor fundamental que se debe considerar para la elección de la ruta más apropiada, ya que mientras mayor sea la carga a transportar por el vehículo, mayor será el consumo de combustible [63] (en promedio se incrementa 0.112 millas por galón por cada tonelada de carga).

Para evitar un consumo de combustible excesivo, se pueden minimizar los trayectos en los cuales se transportará la carga más pesada y continuar trayectos más largos con la carga más liviana lo cual daría un ahorro de entre el 4,9% y el 6,9% [64].

Tabla 2.6. Conducción eficiente y ahorro de combustible.

Año	Ubicación	Método de capacitación	Contexto de evaluación	Cantidad de conductores	Ahorro de combustible
2005	Reino Unido	Simulador de manejo	Simulador de manejo	> 600	3.5 % inmediatamente después de la capacitación
2007	Estados Unidos	Clases	Circuito de manejo cerrado	36	33.6 a 40.5 % inmediatamente después de la capacitación
2009	Australia	Clases	Ruta real predeterminada	12	27.3 % inmediatamente después de la capacitación; 26.9 % después de 3 meses
2010	Países europeos	Clase seguida de retroalimentaciones mensuales y clase de repaso periódica	Rutas reales	322	9.4 % después de un período de tiempo indeterminado
2011	Estados Unidos	Clases personalizadas y sistema de retroalimentación en tiempo real en el vehículo	Rutas reales	695	13.7 % después de 2 meses
2013	Japón	Clases	Sin información disponible	~3000	8.7 % inmediatamente después de la capacitación
2014	Estados Unidos	Clases personalizadas y devoluciones en tiempo real en el vehículo	Rutas reales	46	2.6 % (5.4 % con incentivos económicos) para cabina litera y 5.2 % (9.9 % con incentivos económico) para cabina corta después de 2 meses

(Fuente: [59])

#### 2.2.4. Mantenimiento

Existen varios desperfectos mecánicos que pueden presentar los vehículos de carga pesada por carretera, los cuales impiden una operación óptima en términos de eficiencia energética y consumo de combustible [65]. Muchos de estos desperfectos pueden pasar desapercibidos a lo largo del tiempo ocasionando desperdicios innecesarios de



combustible, razón por la cual se deben cumplir con los mantenimientos programados establecidos por el fabricante del vehículo, además de prestar atención en los incrementos de consumo de combustible que pueden deberse a los siguientes factores:

- Lubricantes. – La contaminación del aceite con partículas metálicas (herrumbre) y de hollín, la temperatura y el propio agotamiento de los paquetes de aditivos conllevan a un incremento en la viscosidad de este [66], por lo que es recomendable utilizar aceites sintéticos de baja viscosidad tanto para el motor como para la transmisión, obteniéndose una mejora en el ahorro de combustible del 5% y 4% respectivamente [67].
- Sistemas de admisión y escape. - Dentro del sistema de admisión y escape existen varios elementos que permiten que el motor trabaje eficientemente, al fallar estos se presentan incrementos en el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>. La válvula EGR se encarga de regular la cantidad de gases de escape que recirculan en el múltiple de admisión, si esta permanece completamente cerrada mayor cantidad de oxígeno puede ingresar a la cámara de combustión dando como resultado una mejora del 31% en el consumo de combustible con respecto al funcionamiento normal de la misma; por el contrario, si la válvula EGR permanece totalmente abierta, el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentarían en un 16% y 15% respectivamente [68].

Las causas más comunes por las cuales existe un aumento de combustible y emisiones contaminantes relacionados a los sistemas de admisión y escape se presentan en la tabla 2.7.

- Sistema de refrigeración. – En el sistema de refrigeración se pueden detectar algunas fallas debidas al mal funcionamiento de los componentes que conforman el mismo, lo cual puede ocasionar sobrecalentamiento, subenfriamiento, pérdidas de refrigerante lo cual conlleva a que el motor no alcance la temperatura normal de funcionamiento aumentando el consumo de combustible y en el peor de los casos ocasionando daños permanentes al motor [69].

Por ejemplo, si el electroventilador se queda encendido por problemas en el sensor de temperatura, lo cual genera una carga adicional innecesaria aumentando el consumo de combustible del 8% al 12% [34].

- Compresores de aire. – Una de las principales fallas en el sistema de freno se da cuando existe una fuga en las líneas de aire, como mangueras, acoples y válvulas o se da una rotura del diafragma y defectos en abrazaderas de la cámara de freno; esto ocasiona que el compresor trabaje más de lo normal para mantener la presión

de suministro en los depósitos lo que a su vez causará una reducción en la vida útil del compresor [70]. Una operación excesiva del compresor produce una reducción de la eficiencia de consumo de combustible del 2% [34].

Tabla 2.7. Consumo por fallas en los sistemas de admisión y escape.

	Falla simulada	CO <sub>2</sub> (g/km)	Consumo de combustible (L/100km)
Sistema de admisión	EGR completamente cerrada	-31%	-31%
	EGR completamente abierta	15%	16%
	Fuga de aire en el intercooler	44%	43%
	Intercooler no enfría	32%	32%
	Filtro de aire bloqueado	17%	17%
	Riel de combustible bloqueado	4%	4%
Inyección de combustible	Falla en el sensor de presión del riel común	24%	24%
	Falla en el sensor de presión de la bomba de combustible	21%	21%
	Falla del inyector	14%	14%
	Falla sello del inyector	14%	14%
	DOC bloqueado	10%	10%
Sistema de escape	SCR	8%	8%
	DPF bloqueado	30%	30%
	Falla sensor DPF	17%	17%
	Sensor NO <sub>x</sub>	6%	6%
	Inyector Adblue	14%	14%
Otras	Termostato completamente abierto	11%	11%
	Bomba de aceite	6%	6%

(Fuente: [68])

- Alineación de ruedas. – La desalineación de las ruedas puede darse debido a varias razones, una de las más comunes es cuando el vehículo sufre golpes por la irregularidad del terreno o golpes en veredas. La alineación de las ruedas del vehículo es importante tanto para el consumo de combustible, así como para el trabajo del motor debido a que una desalineación de 1° en un eje puede aumentar el consumo de combustible en un 5% aproximadamente [71] ya que el motor debe trabajar más para que el vehículo se mueva.
- Neumáticos. – Así como una falta de alineación puede reducir la vida útil de los neumáticos hasta en un 50% [71], la presión de inflado de los neumáticos también influye en el desgaste regular de los mismos, una presión insuficiente hace que el contacto con el suelo se produzca sólo en la superficie exterior; una presión excesiva en cambio hace que el neumático entre en contacto con el suelo solo en su parte central como se puede apreciar en la figura 2.8.

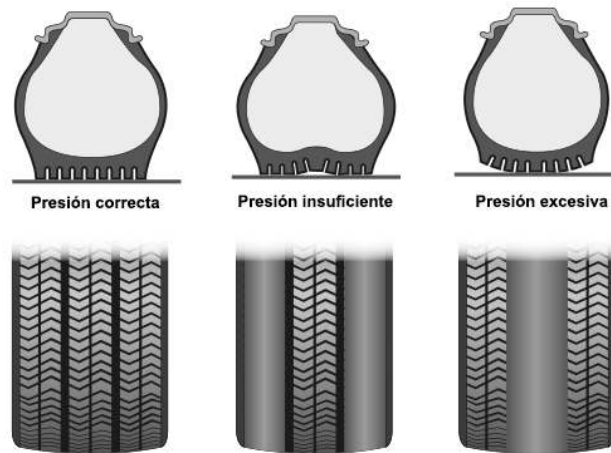


Figura 2. 8 Efectos de la presión de inflado en el desgaste de neumáticos.  
(Fuente: [72])

- Una presión inadecuada, provoca un desgaste anómalo en los neumáticos dando como resultado un aumento en la resistencia a la rodadura y un aumento en el consumo de combustible. Por ejemplo, un descenso de la presión en los neumáticos de 0,02 MPa, da como resultado un aumento de 1.5% en el consumo de combustible [73].
- Filtro de combustible. – Hoy en día los sistemas de combustible deben cumplir con mayores exigencias tales como las tolerancias en el orden de las milésimas de pulgadas en los orificios de los inyectores, por lo cual si los filtros están obstruidos pueden dar paso a impurezas ocasionando daños en los inyectores, bomba y demás componentes del sistema [34]. Estos daños pueden provocar un incremento de entre el 14% y 21% en el consumo de combustible por fallas en los inyectores y en el sensor de presión de la bomba de combustible respectivamente [68].
- Dispositivos aerodinámicos. – Es importante verificar por lo menos una vez al año el estado de los dispositivos aerodinámicos, ya que la presencia de fisuras, grietas o falta de sujeción evitaría que estos dispositivos cumplan con su objetivo como se indicó en 2.2.1.1 con respecto a la reducción del coeficiente de resistencia aerodinámica y por consiguiente a la mejora de la eficiencia energética [74].
- Sistemas eléctricos. – La energía eléctrica generada por los vehículos de carga pesada por carretera, proviene del consumo de combustible para accionar el alternador, la cual se almacenará en la batería para su posterior consumo en los sistemas auxiliares como aire acondicionado, iluminación, plumas, etc. Debido al uso constante, se debe procurar que siempre estén en buen estado para conseguir un confort adecuado y precautelar la seguridad de los ocupantes y terceros. La eficiencia energética de la transformación de la energía térmica en eléctrica es de

21% considerando que el alternador posee una eficiencia promedio de 55% y que existe una pérdida del 2% en la transmisión del movimiento del cigüeñal al alternador al alternador mediante banda [75]. Para evitar que disminuya esta eficiencia deben realizarse los mantenimientos preventivos indicados por el fabricante del vehículo y prestar atención a fallas en el mismo, ya que la presencia de daños en el sistema ocasionará que el motor deba trabajar más para solventar las cargas adicionales.

- Aire acondicionado. – este sistema auxiliar es uno de los mayores consumidores de energía, en promedio un vehículo de carga pesada por carretera que hace uso de esta emplea 5.7 [l/100km] de combustible [76]; por lo cual deben realizarse revisiones periódicas y mantenimientos preventivos para evitar que dicho consumo aumente. Las fallas más comunes en este sistema que provocan que este sistema aumente el consumo de combustible son tuberías obstruidas o retorcidas, fugas de refrigerante, válvula de expansión defectuosa y el compresor [69].

### 2.3. Definición de parámetros

Una vez revisada la bibliografía especializada a la eficiencia energética y reducción de emisiones contaminantes, se han seleccionado los parámetros más relevantes, en base a los cuales se desarrollará el protocolo para el uso eficiente de la energía, los cuales se encuentran en la tabla 2.8.

Tabla 2.8. Parámetros para el uso eficiente de la energía.

Parámetros	
Soluciones tecnológicas	Soluciones aerodinámicas Neumáticos de baja resistencia a la rodadura
Conducción eficiente	Velocidad crucero Aceleración Desaceleración Ralentí
Optimización de rutas	Elección de ruta Tasa de ocupación
Mantenimiento	Lubricantes Sistemas de admisión y escape Sistema de refrigeración Compresores de aire Alineación de ruedas Neumáticos Filtro de combustible Dispositivos aerodinámicos Sistemas eléctricos Aire acondicionado

(Fuente: Propia)

## 2.4. Desarrollo de un protocolo para el uso eficiente de la energía

Para la elaboración de este protocolo, nos enfocaremos en realizar un análisis energético de los vehículos más representativos tanto de la categoría N2 como N3 a fin de identificar las oportunidades para mejorar la eficiencia energética, así como la factibilidad de aplicar las mismas en el Ecuador.

Para la categoría N2 (3 500 Kg – 12 000 Kg) se eligió al vehículo Chevrolet FRR y para la categoría N3 (PBV mayor a 12 000 Kg) se considerará a la marca Hino SS1E, cuyas especificaciones técnicas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.9. Especificaciones técnicas de los vehículos

<b>Categoría</b>	<b>N2</b>	<b>N3</b>
Tipo (Ley de Pesos y Dimensiones)	2DB	T3
Marca	Chevrolet	Hino
Modelo	FRR 1121	SS1E
Nivel de emisiones	Euro 3	Euro 3
Cilindraje	5193	12913
Potencia (HP @ RPM)	207HP @ 2600	473 HP @ 18000
Torque (N.m @ RPM)	635 @ 1600	2156 @ 1.500
Tipo de transmisión	Manual	Manual
Número de marchas	9	16
Peso bruto vehicular PBV (kg)	11000	27000
Peso vacío (kg)	3155	9770
Capacidad de carga homologada (kg)	7845	16570
Capacidad de carga por ejes (kg)	8145	
Capacidad de eje (kg) Delantero	3600	7000
Capacidad de eje (kg) Trasero	7700	20000
Neumáticos	235/75 R17.5	295/80 R 22.5








(Fuente: Propia)

Una vez detalladas las características técnicas de los vehículos se analizará la factibilidad e implementar las soluciones tecnológicas, manejo eficiente, optimización de rutas y mantenimiento enfocados al uso eficiente de la energía y a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> considerando los escenarios geográficos más significativos del país.

### 2.4.1. Soluciones tecnológicas

Una vez realizado el análisis de los dispositivos aerodinámicos que se pueden implementar para reducir el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> en el Ecuador (tabla 2.10) se puede considerar los mismos son aplicables para el vehículo de la categoría N3, mientras que para el vehículo de la categoría N2 únicamente es viable la implementación del deflector superior.

Tabla 2.10. Factibilidad de implementación dispositivos aerodinámicos

Dispositivos aerodinámicos	Implementación	Reducción consumo de combustible
Deflector superior		
N2		6.35
N3		
Faldones laterales		
N2	<b>X</b>	7
N3		
Carenado posterior		
N2	<b>X</b>	2.7
N3		
Reductores de espacios		
N2	<b>X</b>	3
N3		

N2: Chevrolet FRR 1121

N3: HINO SS1E

(Fuente: Propia)

Para el vehículo de la categoría N2 no es factible instalar faldones laterales, ya que estos impiden el acceso a elementos mecánicos del sistema de transmisión, frenos, así como a componentes de sistema eléctrico lo que dificultaría la ejecución del mantenimiento tanto preventivo como correctivo, a razón de que se debería realizar el desmontaje y montaje del dispositivo aerodinámico.

Otro dispositivo que no es factible de implementar es el reductor de espacios entre el furgón y la cabina del vehículo. Por el reducido espacio propio de la configuración del camión, no sería recomendada su instalación debido a que no se alcanzaría a apreciar la reducción de la resistencia del aire, el consumo de combustible y las emisiones contaminantes.

Al instalar y utilizar estos dispositivos hay que considerar que el vehículo debe circular por carreteras interprovinciales realizando recorridos de larga distancia manteniendo una velocidad promedio de 90 km/h debido a que el funcionamiento óptimo de los mismo se alcanza a altas velocidades.

Otra de las soluciones tecnológicas que se pueden implementar en los vehículos de carga pesada por carretera en el Ecuador son los neumáticos de baja resistencia a la rodadura; como se mencionó en el apartado 2.2.1.2 con el uso de dichos dispositivos, se obtienen

importantes mejoras en la eficiencia de combustible y reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, para cada vehículo en particular se debe considerar el ancho del neumático, el tipo de construcción, la medida, el índice de carga y el índice de velocidad.

En la actualidad, en el mercado ecuatoriano se pueden encontrar este tipo de neumáticos, que cumplen con la verificación de resistencia a la rodadura emitido por Smart Way EPA [77] en varias marcas y modelos, los mismos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.11. Marcas y modelos de neumáticos de baja resistencia a la rodadura.

TIPO DE VEHÍCULO	IDENTIFICACIÓN	MARCA	MODELO
N2	235/75R17.5	DURUN	YTH4
		GT RADIAL	GT879
		HIFLY	HH111
		MILEVER	SAH01
N3	295/80R22.5	BRIDGESTONE	ECOPIA R268
		CONTINENTAL	HSR2 SA
		DOUBLECOIN	RR680
		DOUBLECOIN	RLB450
		MICHELIN	XZA2 ENEGY
		GREATWAY	DT966
		SIERRA	ST803

N2: Chevrolet FRR 1121

N3: HINO SS1E

(Fuente: Propia)

#### 2.4.2 Conducción eficiente

Como se ha tratado a lo largo del desarrollo de este proyecto, la conducción eficiente en el transporte pesado es un enfoque cada vez más relevante, debido a que mediante la aplicación de prácticas relativamente sencillas se pueden alcanzar resultados significativos no solo en cuanto a reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> sino que también se reducen los costos operativos y se incrementa la vida útil del vehículo. Para poder aplicar dichas prácticas, es necesario capacitar y dar seguimiento a los transportistas, pues la actitud que estos tomen ante las diversas situaciones de tránsito como conducir a la defensiva, reconocer y evitar peligros en el camino, tomar buenas decisiones, tener las habilidades para conducir el vehículo en condiciones normales y de emergencia, gestionar de manera adecuada la inercia del vehículo influyen de manera directa en el consumo de combustible y por lo tanto en la emisión de CO<sub>2</sub>. A continuación, se proponen una serie de acciones que debe seguir el conductor, para enfrentar situaciones concretas al transitar por las carreteras nacionales, las cuales aplican tanto para el vehículo de la categoría N2 como para el de la categoría N3:

Antes de iniciar el viaje se debe realizar una inspección visual de los parámetros más importantes del vehículo como los niveles de líquidos (aceite del motor y dirección, refrigerante, líquido de frenos), estado y presión de inflado de los neumáticos; así como una breve revisión de la sujeción de alerones, acoplamientos, y los toldos que recubren la carga.

Una vez puesto en marcha el motor, evitar acelerar a plena carga antes de haber alcanzado la temperatura óptima de funcionamiento, iniciar la marcha lo antes posible, conduciendo en un régimen bajo durante los primeros 5 minutos del trayecto.

Una vez en movimiento se debe considerar que uno de los mayores gastos energéticos del vehículo se da cuando el motor se encuentra en ralentí, por cuestiones externas como el tránsito, accidentes, trabajos en las vías o condiciones climáticas es imposible eliminar el tiempo en el cual el motor funcionan en esta condición. Por lo que es necesario gestionar dichas situaciones eligiendo mejores rutas, cuando se tengan tiempos de parada prolongados como en la carga y descarga de mercancías esperar con el motor apagado hasta que se reanude el movimiento.

Durante la conducción uno de los factores más relevantes para optimizar el consumo de combustible es el cambio adecuado de las marchas; por ejemplo, para el vehículo de la categoría N3 se observa en el tablero (figura 2.9) en color verde.



Figura 2. 9 Zona de consumo eficiente Hino SS1E.  
(Fuente: [72])

Para realizar un adecuado régimen de cambio de marchas es importante mantener las revoluciones del motor en el intervalo de conducción eficiente, el cual considera la mejor relación entre potencia, par y consumo específico como se describe en las figuras 2.10 y 2.11 para los vehículos de las categorías N2 y N3 respectivamente.



## CHEVROLET FRR

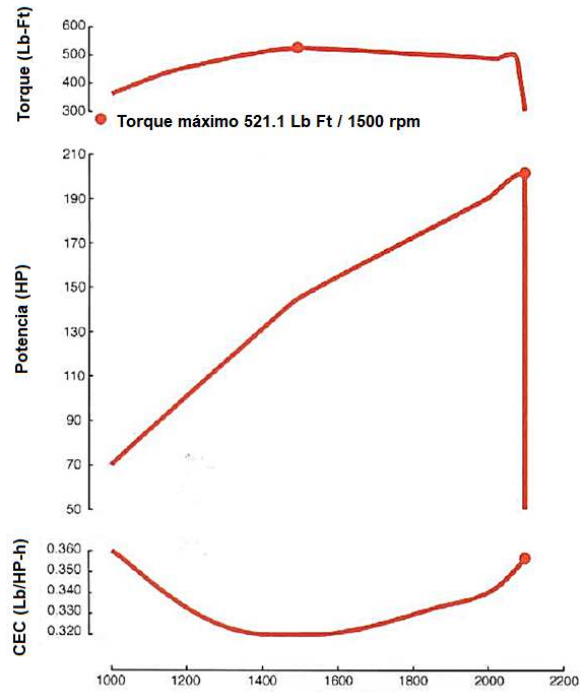


Figura 2. 10 Curvas características torque potencia Chevrolet FRR (Fuente: [78])

## HINO SS1E

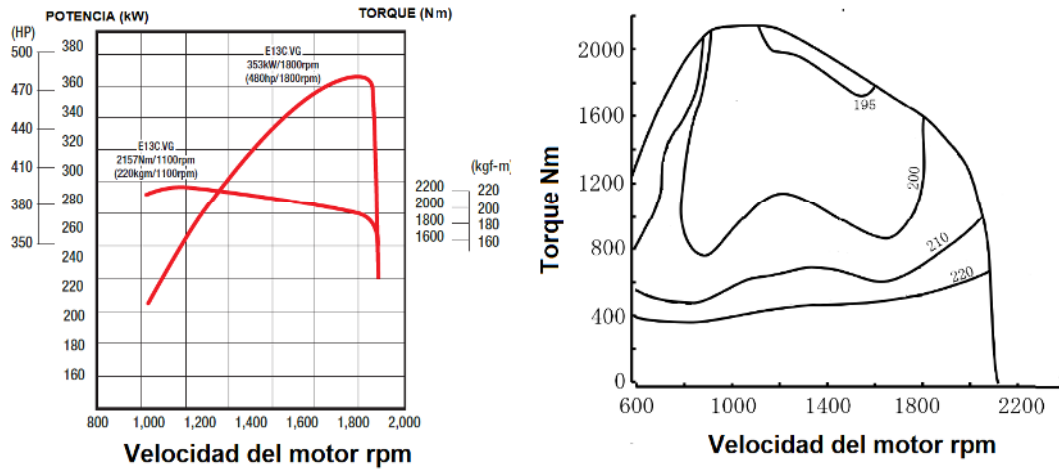


Figura 2. 11 Curvas características torque potencia Hino SS1E (Fuente: [79])

Para hacer un uso eficiente de la energía durante la conducción se debe, en la medida de lo posible mantener una velocidad constante (cruce) para aprovechar la inercia del vehículo evitando aceleraciones y frenados bruscos.

De acuerdo con las condiciones topográficas de las carreteras de nuestro país resulta complicado establecer una velocidad crucero para todo el recorrido, por lo que el conductor se ve en la necesidad de hacer varios cambios de marchas para enfrentarse a las distintas situaciones de ascensos y descensos, en las tablas 2.12 y 2.13, se muestran las indicaciones de cómo afrontar estos escenarios:

Tabla 2.12. Indicaciones de conducción eficiente en pendientes ascendentes.

<b>Conducción en pendientes ascendentes</b>	
Si el vehículo puede mantener la velocidad presionando más el acelerador, no se realizará cambio de marcha.	
RPM bajan lentamente sin salir de la zona verde no se realiza cambio de marcha hasta que termine la pendiente.	
RPM descienden considerablemente saliendo de la zona de conducción eficiente, reducir media marcha, o una marcha hasta alcanzar un régimen de velocidad constante.	
<b>N2</b>	<b>N3</b>
En el caso de fuertes pendientes ascendentes, esperará a que el motor caiga hasta 1200 rpm para reducir a marchas más cortas.	Mantener el acelerador a fondo, observando el tacómetro:
Realizar un mínimo número de cambios.	RPM bajan deprisa, se esperará a llegar a 1150 rpm y reducirá una marcha entera.
Dejar caer en gran medida las revoluciones del motor para efectuar sólo un cambio de marchas, por ejemplo, de 6ª a 4ª en lugar de realizar de 6ª a 5ª y luego a 4ª, con lo que se consigue una menor pérdida de velocidad, ya que el empuje solamente se interrumpe una vez. Además de reducir el uso de la caja de cambios y embrague, se tiene una mayor velocidad media en la subida.	RPM bajan despacio, se llegará hasta 1100rpm y se reducirá media marcha.
	Repetir el proceso hasta mantener una velocidad estable.

(Fuente: [24])

Tabla 2.13. Indicaciones de conducción eficiente en pendientes descendentes.

<b>Conducción en pendientes descendentes</b>
Utilizar el freno motor el mayor tiempo posible.
Aumentar el régimen de giro mediante reducciones de marchas oportunas para que el vehículo no se acelere.
Evitar que las rpm alcancen la zona roja del tacómetro
En caso de exceder los 80 km/h aplicar progresivamente el freno de servicio.
No poner la caja de cambios en neutro, es posible que, al intentar volver a seleccionar una marcha, el cambio no engrane, pudiéndose generar un accidente porque será difícil frenar el vehículo debido a su inercia.

(Fuente: [24])

Otra recomendación que se debe seguir para optimizar el consumo de combustible es el uso adecuado de los sistemas de confort como el aire acondicionado, para esto es necesario evitar abrir las ventanas cuando el aire acondicionado está funcionando, utilizarlo en la función de recirculación interna (se evita enfriar constantemente el aire del exterior); mantener el vehículo frío, en lo posible evitar parquearlo en lugares donde reciba

directamente la radiación solar, si esto no es posible, al ingresar a un vehículo con una temperatura de cabina elevada primero abrir las ventanas y encender el ventilador sin accionar el aire acondicionado; para que el aire caliente abandone el vehículo con mayor facilidad.

La actitud del conductor desempeña un papel significativo en el consumo de combustible, una actitud consciente y responsable conlleva a mejorar la eficiencia energética y reducción de costos. Si el conductor mantiene una actitud proactiva puede adoptar prácticas como una conducción suave y anticipada, evitando frenadas y aceleraciones bruscas. Esto se logra mediante capacitaciones constante en incentivos a los conductores

### 2.4.3 Optimización de rutas

El gasto energético se puede considerar mayor en el transporte pesado de carga por carretera en el Ecuador debido a factores externos al vehículo como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 2.14. Factores externos al vehículo que afectan el consumo de combustible.

<b>Factores externos al vehículo</b>	<b>Descripción</b>
Orografía del camino	El mal estado de las vías incrementa la resistencia a la rodadura, obliga a reducir la velocidad y a utilizar marchas bajas. Reduce la adherencia de los neumáticos por lo que el conductor se ve obligado a reducir la velocidad usando marchas bajas lo que incrementa el consumo de combustible.
Factores meteorológicos	Lluvia y neblina El uso de sistemas auxiliares del vehículo como luces y calefacción incrementan el consumo de combustible. Clima caliente Se incrementa la adherencia de los neumáticos lo que conlleva a un mayor gasto energético del motor.
Tráfico intenso	En nuestro país estas situaciones son muy frecuentes debido a cierres viales por derrumbes o accidentes lo cual conlleva un consumo alto de combustible para recorrer distancias muy cortas.
Desconocimiento de la ruta	Esto ocasiona un desaprovechamiento de la inercia del vehículo al usar excesivamente el freno y no gestionar adecuadamente los cambios de marcha.

(Fuente: [24])

Reducir los efectos de estos factores representa un desafío complejo para el sector del transporte nacional pues se deben considerar múltiples factores y restricciones, sin embargo, una estrategia que ha dado grandes resultados es el uso de software especializado que le brinde información al conductor sobre el estado de la vía y las condiciones del tráfico en tiempo real de modo que pueda hacer ajustes en la ruta en función de la eficiencia energética. Esto se puede conseguir priorizando la elección de carreteras que no se encuentren congestionadas o inhabilitadas, evaluando las opciones de carga y descarga de la mercancía.

Otra estrategia que aporta resultados favorables es el uso de plataformas de comunicación entre los conductores y una central la cual en función del estado de la red vial ecuatoriana (figura 2.12), las condiciones meteorológicas, cruce de información con los canales oficiales de emergencia como el ECU911, cuerpo de bomberos y policía nacional para poder tomar una decisión acertada sobre la elección de la ruta óptima.



Figura 2. 12 Mapa de la Red Vial Estatal – Ecuador  
(Fuente: [80])

Debido a las limitaciones de la red vial nacional y a las impredecibles condiciones climáticas en nuestro país, se debe mantener siempre la precaución y la flexibilidad de cambiar de ruta, un claro ejemplo de esto se muestra en la figura 2.13 donde se muestran las posibles rutas que puede tomar un vehículo que partiendo de la ciudad de Quito se dirige hacia

Guayaquil, dependiendo del día, la hora, el estado del tráfico y las condiciones climáticas la ruta óptima puede cambiar.

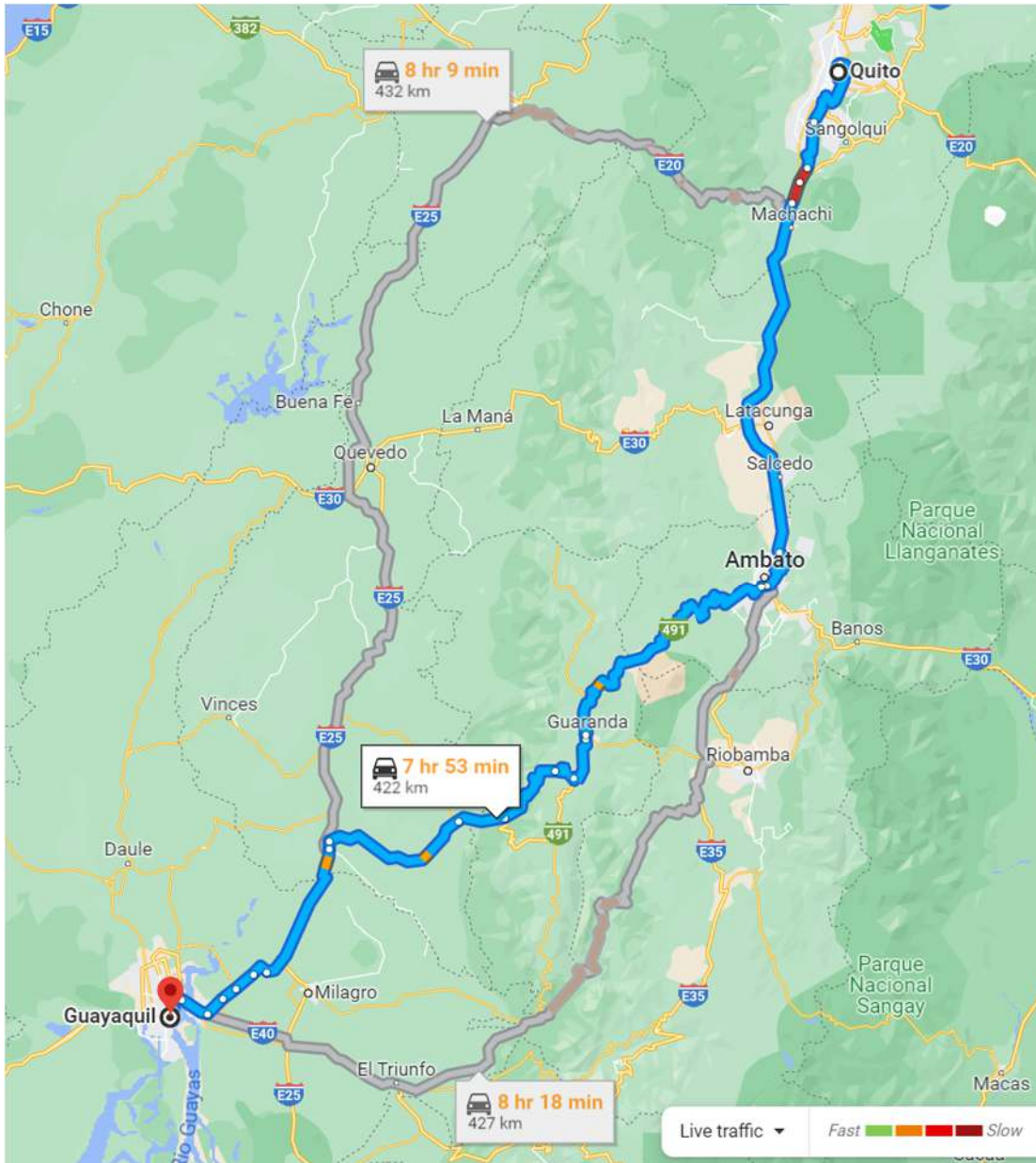


Figura 2. 13 Mapa de la Red Vial Estatal – Ecuador  
(Fuente: Propia)

#### 2.4.4 Mantenimiento

La falta o un incorrecto mantenimiento de los vehículos de transporte pesado por carretera puede causar un incremento de consumo de combustible, y en caso de no realizar inspecciones de manera oportuna, se pueden presentar situaciones en las que se vea comprometida tanto la seguridad como la vida útil del automotor.

Dentro de las estrategias a seguir para reducir el consumo de energía uno de los principales factores es la elección de los lubricantes con la menor viscosidad posible que se ajusten a las condiciones de trabajo del vehículo, para el caso de los vehículos seleccionados, en la siguiente tabla se indican tanto el tipo de lubricante a utilizar como el intervalo de cambio.

Tabla 2.15. Factores externos al vehículo que afectan el consumo de combustible.

ELEMENTO	LUBRICANTES	
	INTERVALO DE CAMBIO	VISCOCIDAD RECOMENDADA
MOTOR	10000km	SAE 5W-30
TRANSMISIÓN	40000 km	SAE 75W-90
DIFERENCIAL	40000km	SAE 80W-90

(Fuente: Propia)

En función de la literatura establecida en el capítulo 1 y teniendo como base teórica los resultados en cuanto a reducción de emisiones y eficiencia energética se refiere, en conjunto con una revisión de los intervalos de mantenimiento programado proporcionados por los fabricantes de los vehículos que se han considerado para este estudio se ha desarrollado un plan de mantenimiento para el uso eficiente de la energía en el transporte pesado de carga por carretera en el Ecuador y su impacto en las emisiones de CO<sub>2</sub>, el cual se encuentra en el Anexo B del presente trabajo.

Como complemento al protocolo de uso eficiente de la energía en el transporte pesado de carga por carretera en el Ecuador, con el objetivo de socializar esa información en el gremio de transportistas, se elaboró una guía de buenas prácticas de manejo la cual se encuentra en el ANEXO C.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el presente capítulo se presentan los resultados de la investigación realizada con el objetivo de desarrollar un protocolo para el uso eficiente de la energía en el transporte de carga pesada por carretera en el Ecuador; los mismos que fueron obtenidos de manera documental de varias investigaciones y programas internacionales en los cuales mediante pruebas en túnel de viento, simulación CFD y mediciones en ruta (monitorización del consumo de combustible en tiempo real y toma de muestras de emisiones de gases contaminantes) han demostrado los beneficios de instalar dispositivos aerodinámicos, usar neumáticos de bajar resistencia a la rodadura, la optimización de rutas y la capacitación de los conductores en cuanto a técnicas de conducción eficiente.

Los hallazgos de esta investigación evidencian la importancia de la implementación de medidas de eficiencia energética en el sector transporte de carga pesada por carretera a nivel nacional y su impacto en la reducción del consumo energético, así como la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Asimismo, estos resultados pueden servir como base para la toma de decisiones informadas en cuanto a la inversión en medidas de eficiencia energética.

#### **3.1. Alternativas de reducción de consumo energético**

La necesidad de reducir el consumo energético en el sector transporte, es apremiante en nuestra sociedad, tanto por motivos económicos como ambientales. En este sentido, la identificación y análisis de las alternativas para reducir el consumo energético se convierte en una tarea imprescindible. A continuación, se muestra un análisis de las alternativas de reducción de consumo energético del transporte de carga pesada por carretera.

A diferencia a de la tabla 3.1 en la que se presenta el ahorro de combustible, en la tabla 3.2 se muestra como la falta de mantenimiento causa que el vehículo incremente el consumo de combustible.

#### **3.2. Estimación de resultados establecidos en el protocolo**

Para estimar los resultados de reducción de consumo de combustible, se han considerado los datos de referencia o línea base proporcionados por el fabricante del vehículo; para el caso del vehículo Chevrolet FRR 25L/100km [81] mientras que para el Hino SS1E es de 32L/100km [82].

Tabla 3.1. Alternativas de reducción de consumo energético

<b>Alternativas de reducción de consumo energético</b>	<b>Ahorro combustible [%]</b>
<b>Soluciones tecnológicas</b>	
Soluciones aerodinámicas	
Deflector superior	6.35
Faldones laterales	7.00
Carenado posterior	2.70
Reductores de espacios	3.00
Neumáticos de baja resistencia a la rodadura	5.00
<b>Conducción eficiente</b>	
Modos de conducción	
Velocidad cruceo	35.00
Aceleración	38.00
Desaceleración	8.00
Ralentí	19.00
Capacitación del conductor	
En simulador de manejo	3.50
Prácticas en circuito de manejo cerrado	33.60 - 40.50
Prácticas en ruta real predeterminada	26.90
Clase seguida de retroalimentaciones mensuales y clases de repaso periódicas	9.40
Clases personalizadas con sistema de retroalimentación en tiempo real	13.70
<b>Optimización de rutas</b>	8.20
<b>Mantenimiento</b>	
Lubricantes de baja viscosidad motor	5.00*
Lubricantes de baja viscosidad transmisión	4.00*
Sistemas de admisión y escape	31.00*
Compresores de aire	2.00*

\*En caso de no realizar los mantenimientos, se incrementan tanto el consumo de combustible como las emisiones de CO<sub>2</sub>.

(Fuente: Propia)

Tabla 3.2. Alternativas de reducción de consumo energéticos

<b>Falta de mantenimiento</b>	<b>Incremento combustible</b>
Sistema de refrigeración	8.00 - 12.00
Alineación de ruedas	5.00
Presión de neumáticos	1.50
Inyectores	14.00
Bomba de combustible	21.00

(Fuente: Propia)

Considerando una de las rutas más transitadas por estos tipos de vehículos, como es la ruta Quito – Guayaquil cuya distancia es de 432km, es posible estimar tanto el consumo de combustible en litros por viaje como los kilogramos de CO<sub>2</sub> que se emitirán a la atmosfera, como se indica a continuación:



$$\text{Litros consumidos por viaje N2} = 432[\text{km}] \times \frac{25[\text{l}]}{100[\text{km}]}$$

$$\text{Litros consumidos por viaje N2} = 108.00[\text{l}]$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \frac{2.61[\text{kgCO}_2]}{[\text{l}]} \times 108.00[\text{l}]$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 = 281.88[\text{kgCO}_2]$$

$$\text{Litros consumidos por viaje N3} = 432[\text{km}] \times \frac{32}{100[\text{km}]}$$

$$\text{Litros consumidos por viaje N2} = 138.24[\text{l}]$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \frac{2.61[\text{kgCO}_2]}{[\text{l}]} \times 138.24[\text{l}]$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 = 360.80[\text{kgCO}_2]$$

Como se puede observar los kilogramos de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera en este trayecto en particular son 281.88 [kgCO<sub>2</sub>] para el vehículo de la categoría N2 y 360.80 [kgCO<sub>2</sub>] para el de la categoría N3.

En las tablas 3.3 y 3.4 se muestran los valores de consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> que se obtendrían al aplicar las recomendaciones del protocolo de para el uso eficiente de la energía en el transporte pesado de carga por carretera en el Ecuador, para los vehículos de la categoría N2 y N3 respectivamente.

### **3.3. Análisis de resultados**

Cada una de las alternativas descritas en el protocolo, permiten alcanzar una reducción de combustible que puede ser considerable teniendo en cuenta que para la estimación se seleccionó solo un trayecto en particular que recorrería un vehículo de transporte de carga; al extrapolar estos resultados a la totalidad de vehículos de transporte pesado y a todas las rutas a nivel nacional que puede realizar una compañía de transporte, el gasto energético sería mucho menor lo que podría representar una reducción importante de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Una de las mejores alternativas para optimizar el uso energético, que puede implementarse sin mayores complicaciones es la conducción eficiente, en especial en la capacitación de los conductores y operadores. El consumo de combustible está relacionado directamente con la actitud del conductor, el desconocimiento de estas estrategias de conducción o malas costumbres de manejo conllevan a desaprovechar el potencial ahorro que se podría conseguir además de acortar la vida útil del vehículo.

El mantenimiento como tal no favorece a la optimización el uso de la energía, pero la falta de este ocasiona que se presente consumos adicionales de combustible debido al mal

funcionamiento de los distintos sistemas automotrices lo que se refleja en un aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Tabla 3.3. Consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> vehículo categoría N2.

<b>Alternativas de reducción de consumo energético</b>	<b>Reducción combustible [%]</b>	<b>Combustible [l]</b>	<b>CO<sub>2</sub> [kg]</b>
<b>Soluciones tecnológicas</b>			
Soluciones aerodinámicas			
Deflector superior	6.35	101.14	263.98
Neumáticos de baja resistencia a la rodadura	5.00	102.60	267.79
<b>Conducción eficiente</b>			
Modos de conducción			
Velocidad crucero	35.00	70.20	183.22
Aceleración	38.00	66.96	174.77
Desaceleración	8.00	99.36	259.33
Ralentí	19.00	87.48	228.32
Capacitación del conductor			
En simulador de manejo	3.5.00	104.22	272.01
Prácticas en circuito de manejo cerrado	33.60 - 40.50	64.26	187.16 - 167.72
Prácticas en ruta real predeterminada	26.90	78.95	206.05
Clase seguida de retroalimentaciones mensuales y clases de repaso periódicas	9.40	97.85	255.38
Clases personalizadas con sistema de retroalimentación en tiempo real	13.70	93.20	243.26
<b>Optimización de rutas</b>	8.20	99.14	258.77
<b>Mantenimiento</b>			
Lubricantes de baja viscosidad motor	5.00*	113.40	295.97
Lubricantes de baja viscosidad transmisión	4.00*	112.32	293.16
Sistemas de admisión y escape	31.00*	141.48	369.26
Compresores de aire	2.00*	110.16	287.52

\*En caso de no realizar los mantenimientos, se incrementan tanto el consumo de combustible como las emisiones de CO<sub>2</sub>.

(Fuente: Propia)

Tabla 3.4. Consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> vehículo categoría N3.

<b>Alternativas de reducción de consumo energético</b>	<b>Ahorro combustible [%]</b>	<b>Ahorro combustible [%]</b>	<b>CO<sub>2</sub> [kg]</b>
<b>Soluciones tecnológicas</b>			
Soluciones aerodinámicas			
Deflector superior	6.35	129.46	337.90
Faldones laterales	7.00	128.56	335.55
Carenado posterior	2.70	134.51	351.06
Reductores de espacios	3.00	134.09	349.98
Neumáticos de baja resistencia a la rodadura	5.00	131.33	342.77
<b>Conducción eficiente</b>			0.00
Modos de conducción			
Velocidad crucero	35.00	89.86	234.52
Aceleración	38.00	85.71	223.70
Desaceleración	8.00	127.18	331.94
Ralentí	19.00	111.97	292.25
Capacitación del conductor			
En simulador de manejo	3.50	133.40	348.18
Prácticas en circuito de manejo cerrado	33.60 - 40.50	82.25	239.57 - 214.67
Prácticas en ruta real predeterminada	26.90	101.05	263.75
Clase seguida de retroalimentaciones mensuales y clases de repaso periódicas	9.40	125.25	326.89
Clases personalizadas con sistema de retroalimentación en tiempo real	13.70	119.30	311.38
<b>Optimización de rutas</b>	8.20	126.90	331.22
<b>Mantenimiento</b>			
Lubricantes de baja viscosidad motor	5.00*	145.15	378.85
Lubricantes de baja viscosidad transmisión	4.00*	143.77	375.24
Sistemas de admisión y escape	31.00*	181.09	472.66
Compresores de aire	2.00*	141.00	368.02

\*En caso de no realizar los mantenimientos, se incrementan tanto el consumo de combustible como las emisiones de CO<sub>2</sub>.

(Fuente: Propia)

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- El protocolo para el uso eficiente de la energía en el transporte pesado de carga por carretera en el Ecuador muestra varias alternativas, como la implementación de soluciones tecnológicas como dispositivos aerodinámicos, neumáticos de baja resistencia a la rodadura, prácticas de conducción eficiente, selección de la ruta óptima y un adecuado mantenimiento los cuales pueden reducir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> contribuyendo al desarrollo sostenible y conservación del medio ambiente.
- En nuestro país la implementación de soluciones tecnológicas, principalmente los dispositivos aerodinámicos resultan limitados para los vehículos que pertenecen a la categoría N2 la única alternativa que puede ser utilizada son los deflectores de cabina con los cuales se alcanza una reducción 6.35% del consumo de combustible. A diferencia de los vehículos de la categoría N3 en los cuales se pueden implementar deflectores superiores, faldones laterales, carenado posterior y reductores de espacios con sus respectivas reducciones de consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>. Hay que tomar en consideración que los beneficios de la implementación de los diferentes dispositivos aerodinámicos se evidencian únicamente cuando el vehículo circula a velocidades superiores a los 90 km/h.
- Los neumáticos al ser los elementos finales en el tren motriz del vehículo transmiten la fuerza de tracción y el par motor correspondiente hacia la superficie de contacto; por lo que la selección de neumáticos de baja resistencia a la rodadura permite que la mayor parte de energía no se disipe en forma de calor debido a la fricción excesiva.
- El mayor porcentaje de reducción de combustible (40.00%) puede conseguirse mediante capacitación a los conductores en técnicas de conducción eficiente como evitar aceleraciones y frenadas bruscas, mantener una velocidad constante y adecuada, y reducir el tiempo de ralentí.
- Para optimizar la elección de rutas es necesario considerar los factores externos al vehículo que pueden ser determinantes en nuestro país como la orografía del camino, factores meteorológicos, tráfico y desconocimiento de la ruta además de mantener siempre la precaución y la flexibilidad de cambiar de ruta debido a las impredecibles situaciones de tránsito que puedan presentarse en la vía.

- Es crucial realizar un mantenimiento adecuado en los vehículos para asegurar que se encuentren en óptimas condiciones de funcionamiento y así evitar un consumo innecesario de combustible. A pesar de que el mantenimiento no tiene un impacto directo en la optimización del uso de la energía, su falta puede provocar un mal funcionamiento en los diferentes sistemas automotrices, lo que a su vez puede generar un mayor consumo de combustible y, por ende, un aumento en la emisión de gases contaminantes como el CO<sub>2</sub>.

## **4.2. Recomendaciones**

- Incentivar los programas de capacitación de conducción eficiente, en los cuales se socialicen los beneficios energéticos del uso de dispositivos aerodinámicos y neumáticos de baja resistencia a la rodadura para que los mismo puedan ser fabricados a nivel nacional o en su defecto se agilicen los procesos de importación de estos a la par de una reducción arancelaria de los mismo.
- Utilizar software especializado para proporcionar al conductor información actualizada sobre la situación del tráfico y las condiciones de la carretera en tiempo real, lo que le permitirá tomar decisiones informadas para mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental del vehículo.
- Renovar la flota vehicular, acogiendo a las iniciativas nacionales como los planes de chatarrización para mejorar la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental del transporte pesado por carretera.
- Implementar un sistema de monitoreo y reporte del consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> de la flota, ya que esto ayudaría a conocer las oportunidades de mejora y solventar problemas que puedan darse en el día a día de los transportistas de carga en el Ecuador.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Villalobos y G. Wilmsmeier, «Estrategias y herramientas para la eficiencia energética y la sostenibilidad del transporte de carga por carretera,» *Boletín FAL*, vol. 349, nº 5, pp. 1-12, 2016.
- [2] Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, «Balance Energético Nacional,» Quito, 2018.
- [3] Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, «Sector automotor en cifras,» Quito, 2020.
- [4] F. García, «Elaboración de una propuesta de un plan de desarrollo energéticamente eficiente y de bajas emisiones para el sector de transporte de pasajeros en la ciudad de Quito,» *Escuela Politécnica Nacional*, 2018.
- [5] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, «Guía para la Gestión del Combustible en las Flotas de Transporte,» *Eficiencia en el transporte*, 2006.
- [6] Agencia Nacional de Tránsito, «Transporte comercial carga pesada cooperativas y número de vehículos,» 2020.
- [7] Asamblea Nacional del Ecuador, «Ley Orgánica de Eficiencia Energética,» Quito, 2019.
- [8] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, «Plan Nacional de Eficiencia Energética 2015-2036,» Quito, 2017.
- [9] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, «Normas de aplicación para el Control de Pesos y Dimensiones a los vehículos de carga pesada que circulan en la Red Vial del País,» *Resolución No. 018-2016*, 2016.
- [10] Servicio Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 2656 Clasificación Vehicular,» Quito, 2016.
- [11] Instituto Nacional de Estadística y Censos, «Tabulados del Anuario de Transporte,» Quito, 2018.
- [12] Agencia Nacional de Tránsito, «Homologación Vehicular - Listado de Vehículos Homologados,» Quito, 2020.
- [13] S. Escudero, *Motores*, Madrid: Mc Millan Education, 2016.
- [14] G. Rao y T. Sharma, *Engine Emission Control Technologies: Design Modifications and Pollution Mitigation Techniques.*, Apple Academic Press, 2020.

- [15] National Oceanic and Atmospheric Administration, «NOAA research news,» 2022. [En línea]. Available: <https://research.noaa.gov/News/ArtMID/451/ArticleID/2636/Rise-of-carbon-dioxide-unabated..> [Último acceso: 5 Mayo 2022].
- [16] International Energy Agency, «CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion Statistics: Greenhouse Gas Emissions from Energy,» *Detailed CO<sub>2</sub> estimates*, 2019.
- [17] B. Stojčić, «Basics of Vehicle Dynamics,» de *Basics of Automotive Engineering*, Novi Sad.
- [18] K. Y. Liang, *Coordination and Routing for Fuel-Efficient Heavy-Duty Vehicle Platoon*, Estocolmo: KTH School of Electrical Engineering, 2014.
- [19] D. Pachacama y J. Simbaña, *Evaluación del consumo de combustible de un camión con la implementación de un deflector de aire*, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2017.
- [20] M. Meywerk, *Vehicle Dynamics*, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2015.
- [21] E. ToolBox, «Drag Coefficient,» 2004. [En línea]. Available: [https://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d\\_627.html](https://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d_627.html). [Último acceso: 10 Agosto 2022].
- [22] E. ToolBox, «Rolling Resistance,» 2008. [En línea]. Available: [https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d\\_1303.html](https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d_1303.html). [Último acceso: 14 Agosto 2022].
- [23] V. Magaña, *Eco-driving: Ahorro de energía basado en el comportamiento del conductor*, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2014.
- [24] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, *Manual de conducción eficiente para conductores de vehículos industriales*, Madrid, 2005.
- [25] Freightliner, *Columbia Driver's manual*, Portland: Daimler Trucks North America LLC, 2012.
- [26] Carrico, Amanda R., et al., «Costly myths: An analysis of idling beliefs and behavior in personal motorvehicles,» Elsevier, Nashville, 2009.
- [27] Ministerios de Transportes y Comunicaciones, *Manual de conducción eficiente*, Lima, 2020.
- [28] Scania, *Specification R520 LA6x4ESZ*, Tongwell: Scania Limited, 2014.
- [29] National Resources Canada, *Fuel-Efficient driving practices, Module 3*, Toronto, 2014.
- [30] Auto Avance, «Retardador Ralentizador Hidrodinámico en Buses y Camiones,» 14 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico->

- automotriz/193-retardador-ralentizador-hidrodinamico-en-buses-y-camiones/. [Último acceso: 22 Mayo 2022].
- [31] Telma, «Ralentisseurs Electromagnétiques - Fonctionnement,» [En línea]. Available: <https://es.telma.com/produits/fonctionnement>. [Último acceso: 2022 Mayo 13].
- [32] Minett, C. F., Salomons, A. M., Daamen, W., Van Arem, B., & Kuijpers, S., «Eco-routing: comparing the fuel consumption of different routes between an origin and destination using field test speed profiles and synthetic speed profiles,» *Foro IEEE Sisteas de Transporte Integrados y Sostenibles*, 2011.
- [33] G. A. Alvarez Coello, Diagnóstico y análisis de los procedimientos utilizados en la RTV y su impacto en la ciudad de Cuenca, Cuenca, 2010.
- [34] North American Council for Freight Efficiency, Maintenance confidence report, 2015.
- [35] Payri González, F., & Desantes Fernández, J. M., Motores de combustión interna alternativos, Valencia: Universitat politècnica de valencia, 2011.
- [36] Pulkrabek, W. W, Engineering fundamentals of the internal combustion engine, Wisconsin: Prentice Hall, 2004.
- [37] Aresti, M., Tanco, M., Jurburg, D., Moratorio, D., & Villalobos, J., Evaluación de tecnologías para la eficiencia energética en vehículos de carga por carretera, Memoria Investigaciones en Ingeniería, 2016.
- [38] Sharpe, B., Green freight programs and technology verification, Washington, DC: The International Council on Clean Transportation, 2015.
- [39] T. Thuresson, «How aerodynamics and rolling resistance impact your truck's fuel consumption,» Volvo, 10 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/insights/articles/2019/oct/how-aerodynamics-and-rolling-resistance-impact-your-trucks-fuel-consumption.html>. [Último acceso: 16 Enero 2023].
- [40] Hilgers, M., y Achenbach, W., Fuel Consumption and Consumption Optimization, Springer Vieweg, 2021.
- [41] Dillmann, A., y Orellano, A., The Aerodynamics of Heavy Vehicles III, Trucks Buses and Trains, Springer, 2016.
- [42] Krishna, M. V., & Ram, C. V. , Adjustable roof fairing for truck aerodynamics, SAE Technical Paper, 2011.
- [43] Kim, J, y Lee, S. , Drag-reducing underbody flow of a heavy vehicle with side skirts, Journal of Visualization, 2017.



- [44] Sharpe, B., & Roeth, M., Costs and adoption rates of fuel-saving technologies for trailers in the North American on-road freight sector, The International Council on Clean Transportation, 2014.
- [45] Curry, T., Liberman, I., Hoffman-Andrews, L., Lowell, D, Reducing Aerodynamic Drag and Rolling Resistance from Heavy-Duty Trucks: Summary of Available Technologies Applicability to Chinese Trucks, San Francisco: International Council on Clean Transportation , 2012.
- [46] Lee, E.J., Lee, S.J., Drag reduction of a heavy vehicle using a modified boat tail with lower inclined air deflector, Journal of Visualization, 2017.
- [47] Cooper, K. R, Truck aerodynamics reborn-lessons from the past, SAE transactions, 2003.
- [48] Mason, W. T., Beebe, P. S. , The drag related flow field characteristics of trucks and buses in aerodynamic drag mechanisms of bluff bodies and road vehicles, Boston: Springer, 1978.
- [49] Landman, D., Wood, R., Seay, W., & Bledsoe, J., Understanding practical limits to heavy truck drag reduction, Boston: Springer, 2009.
- [50] Belzile, M., Patten, J., Eng, P., McAuliffe, B., Mayda, W., & Tanguay, B. , Technical Report Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses, Boston: Springer, 2012.
- [51] Hall, D. E., & Moreland, J. C., Fundamentals of rolling resistance, Rubber chemistry and technology, 2001.
- [52] J. Barrand y J. Bokar, Reducing Tire Rolling Resistance to Save, SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems, 2008.
- [53] Sina, N., Nasiri, S., & Karkhaneh, V., Effects of resistive loads and tire inflation pressure on tire power losses and CO<sub>2</sub> emissions in real-world conditions, Applied Energy, 2015.
- [54] U.S. Environmental Protection Agency (EPA) and, Proposed rulemaking for 2017–2025 light-duty vehicle greenhouse gas emission standards and corporate average fuel economy standards, 2012.
- [55] I. Riemersma y P. Mock, Influence of Rolling Resistance on CO<sub>2</sub>, Washington-Berlin-San Francisco: International Council of Clean Transport, 2012.
- [56] National Research Council (US), Tires and passenger vehicle fuel economy: informing consumers, improving performance (Vol. 286), Transportation Research Board, 2006.

- [57] Sivak, M. ,Schoettle, B., Eco-driving: Strategic, tactical, and operational decisions of the driver that influence vehicle fuel economy, Michigan: Transport policy, 2021.
- [58] Xu, N., Li, X., Liu, Q., & Zhao, D., An overview of eco-driving theory, capability evaluation, and training applications, Basel: MDPI, 2021.
- [59] Boriboonsomsin, K, Reducing the carbon footprint of freight movement through eco-driving programs for heavy-duty trucks., Riverside: National Center for Sustainable Transportation, 2015.
- [60] Lee, Wen-Chen, Bor-Wen Cheng, Effects of using a portable navigation system and paper map in real driving, Taiwan: Elsevier, 2008.
- [61] NAVTEQ, Map-Enhanced Green Driving Assistant, NAVTEQ White paper, 2009.
- [62] Ericsson, E., Larsson, H., Brundell-Freij, K., Optimizing route choice for lowest fuel consumption–potential effects of a new driver support tool., Lund: Transportation Research Part C 14, 2006.
- [63] Coyle, M, Effects of payload on the fuel consumption of trucks, Londres: Department for Transport, 2007.
- [64] Suzuki, Y., A new truck-routing approach for reducing fuel consumption and pollutants emission, Iowa: Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2011.
- [65] McKinnon, A., Browne, M., Whiteing, A., y Piecyk, M., Green logistics: Improving the environmental sustainability of logistics, Londres: Kogan Page Publishers, 2015.
- [66] van Dam, W., Kleijwegt, P., Torreman, M., Parsons, G., The lubricant contribution to improved fuel economy in heavy duty diesel engines, Chevron Oronite LLC, 2009.
- [67] Ang-Olson, J., Schroeer, W., Energy efficiency strategies for freight trucking: potential impact on fuel use and greenhouse gas emissions, Transportation Research Record 1815, 2002.
- [68] Huang, Y., Ng, E. C., Yam, Y. S., Lee, C. K., Surawski, N. C., Mok, W. C., Chan, E. F. , Impact of potential engine malfunctions on fuel consumption and gaseous emissions of a Euro VI diesel truck., Sidney: Energy Conversion and Management, 2019.
- [69] T. Denton, Advanced Automotive Fault Diagnosis: Automotive Technology: Vehicle Maintenance and Repair, Abingdon: Routledge, 2016.
- [70] Subramanian, S. C., Darbha, S., Rajagopal, K. R. , A diagnostic system for air brakes in commercial vehicles, Texas: IEEE transactions on intelligent transportation systems, 2006.

- [71] Department for Transport, Keeping Profit on Track with WheelAlignment, Londres: Freight Best Practice, 2010.
- [72] Matos A., «Hino 700 Series 2848 vocational rigid: Review,» Truck sales, 5 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.trucksales.com.au/editorial/details/hino-700-series-2848-vocational-rigid-review-121949/>. [Último acceso: 26 Mayo 2022].
- [73] Szczucka-Lasota, B., Kamińska, J., Krzyżewska, I., Influence of tire pressure on fuel consumption in trucks with installed tire pressure monitoring system (TPMS), Katowice: Scientific Journal of Silesian University of Technology, 2019.
- [74] G. S., «Are trailer side skirts in your future?,» Fleet Maintenance, 4 Mayo 2011. [En línea]. Available: <https://www.fleetmaintenance.com/shop-operations/shop-management/article/10262319/are-trailer-side-skirts-in-your-future>. [Último acceso: 16 Diciembre 2022].
- [75] Bradfield, M., Improving Alternator Efficiency Measurably Reduces Fuel Costs BY MIKE BRADFIELD, MSME Remy,, Delco Remy, 2008.
- [76] Orofino, L., Amante, F., Mola, S., Rostagno, M., Villosio, G., Piu, A., An Integrated approach for air conditioning and electrical system impact on vehicle fuel consumption and performances analysis: DrivEM 1.0., Warrendale: Thermal Systems & Management Systems, 2007.
- [77] E. P. Agency, «Verified Technologies for SmartWay and Clean Diesel,» [En línea]. Available: <https://www.epa.gov/verified-diesel-tech/smartway-verified-list-low-rolling-resistance-lrr-new-and-retread-tire>. [Último acceso: 17 Mayo 2023].
- [78] L. Isuzu Motors America, IZUSU 4HK1, Michigan: ISUZU Diesel Engines, 2015.
- [79] HINO, Hino 700 series SS2848 Engine, Driveline and Chassis specifications, Sidney: Hino motor sales, 2023.
- [80] M. d. T. y. O. Públicas, «Ministerio de Transporte y Obras Públicas,» Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.obraspublicas.gob.ec/mapa-estado-de-carreteras-ecuador/>. [Último acceso: 20 Mayo 2023].
- [81] T. Staff, «Review: Isuzu FRR,» Trucksales Staff, 9 Agosto 2016. [En línea]. Available: <https://www.trucksales.com.au/editorial/details/review-isuzu-frr-110-240-57342/>. [Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [82] W. A., «Hino 700 Series vocational rigid: Review,» Truck sales, 5 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.trucksales.com.au/editorial/details/hino-700-series-2848-vocational-rigid-review-121949/>. [Último acceso: 12 Febrero 2023].

# ANEXOS

## ANEXO A

### PESOS Y DIMENSIONES MTOP

TABLA NACIONAL DE PESOS Y DIMENSIONES DE VEHÍCULOS DE CARGA PESADA MOTORIZADOS, REMOLQUES Y SEMIRREMOLQUES								
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)				
				Largo	Ancho	Alto		
2 D			7	5,50	2,60	3,00		
2DA			10	7,50	2,60	3,50		
2DB			18	12,20	2,60	4,10		
3-A			27	12,20	2,60	4,10		
4-C			31	12,20	2,60	4,10		
4-0 OCTOPUS			34	12,20	2,60	4,10		
V2DB			18	12,20	2,60	4,10		
V3A			27	12,20	2,60	4,10		
T2			18	8,50	2,60	4,10		
T3			27	8,50	2,60	4,10		
R2			14	10,00	2,60	4,10		
R3			21	10,00	2,60	4,10		
S1			11	13,20	2,60	4,10		
S2			20	13,20	2,60	4,10		
S3			24	13,20	2,60	4,10		
B1			7	10,00	2,60	4,10		
B2			14	10,00	2,60	4,10		
B3			21	10,00	2,60	4,10		

TABLA NACIONAL DE PESO BRUTO VEHICULAR Y DIMENSIONES MÁXIMAS PERMISIBLES EN COMBINACIONES							
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO COMBINADO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)			
				Largo	Ancho	Alto	
2S1			29	20,50	2,60	4,30	
2S2			38	20,50	2,60	4,30	
2S3			42	20,50	2,60	4,30	
3S1			38	20,50	2,60	4,30	
3S2			47	20,50	2,60	4,30	
*3S3			48	20,50	2,60	4,30	
2R2			32	20,50	2,60	4,30	
**2R3			39	20,50	2,60	4,30	
*3R3			48	20,50	2,60	4,30	
**3R2			41	20,50	2,60	4,30	
2B1			25	20,50	2,60	4,30	
2B2			32	20,50	2,60	4,30	
2B3			39	20,50	2,60	4,30	
3B1			34	20,50	2,60	4,30	
3B2			41	20,50	2,60	4,30	
3B3			48	20,50	2,60	4,30	

## ANEXO B

### PLAN DE MANTENIMIENTO PARA VEHÍCULOS DE LA CATEGORÍA N2 Y N3

SISTEMA A INSPECCIONAR	ELEMENTOS / PARÁMETROS	INTERVALO DE SERVICIO x 1000km																			
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
SISTEMAS DE ADMISIÓN Y ESCAPE	FILTRO DE AIRE	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I
	HOLGURA VÁLVULAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A
	LIMPIEZA INTERCOOLER	-	-	-	I	-	-	-	I	-	-	-	I	-	-	-	I	-	-	-	I
	CONTROL EMISIÓN DE GASES	-	-	-	I	-	-	-	I	-	-	-	I	-	-	-	I	-	-	-	I
	MÚLTIPLES DE ADMISIÓN Y ESCAPE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T
	TURBO CARGADOR	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I
	FILTRO DE COMBUSTIBLE	-	-	-	R	-	-	-	R	-	-	-	R	-	-	-	R	-	-	-	R
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	CORREAS DE VENTILADOR	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I
	EMBRAGUE DE VENTILADOR	-	-	-	I	-	-	-	I	-	-	-	I	-	-	-	I	-	-	-	I
	LÍQUIDO REFRIGERANTE	CADA 12 MESES: I CADA 24 MESES: R																			
	TAPA DE RADIADOR	CADA 24 MESES: I																			
	MANGUERAS RADIADOR	CADA 12 MESES: I																			
COMPRESOR DE AIRE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	I
ALINEACIÓN DE RUEDAS	CONVERGENCIA, CAMBER Y CASTER	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A
NEUMÁTICOS	PRESIÓN DE INFLADO	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I
	DESGASTE	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I
	PRESENCIA DE OBJETOS INCRUSTADOS	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I
DISPOSITIVOS AERODINÁMICOS	AJUSTE, ESTADO Y LIMPIEZA	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I
SISTEMA ELÉCTRICO	LUCES	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	I

	INSTRUMENTOS	-		-		-		-		-		-		-		-		-				
	ALTERNADOR	-		-		-		-		-		-		-		-		-				
	NIVEL Y ESTADO LÍQUIDO BATERÍA	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-		-	-	
	MOTOR DE ARRANQUE	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-		-	-	
AIRE ACONDICIONADO	FUNCIONAMIENTO	CADA 12 MESES: I																				
	FILTRO	CADA 6 MESES: R																				
	REFRIGERANTE	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	-
FRENOS	LÍQUIDO DE FRENOS	-		-		-		-		-	R	-		-		-		-		-	R	
	LIMPIEZA DE TAMBORES	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		
	LÍQUIDO DE EMBRAGUE	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		
TRANSMISIÓN	DESGASTE DE EMBRAGUE	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		
	JUNTAS UNIVERSALES	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	ENGRASE RODAMIENTOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R
	RETENEDORES DIFERENCIAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-
SUSPENSIÓN	ESTADO Y ALENEACIÓN HOJAS DE RESORTE	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		
	ESTADO AMORTIGUADORES	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-		-	-

## **ANEXO C**

# **BUENAS PRÁCTICAS PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN EL TRANSPORTE PESADO DE CARGA POR CARRETERA EN EL ECUADOR Y SU IMPACTO EN LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub>.**



