



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Modelo de obtención de consumo de combustible de vehículos de carga pesada

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

Nombre del autor:

DAVID SANTIAGO PERALTA CARDENAS

Nombre del director:

ING. DANIEL CORDERO MORENO

CUENCA – ECUADOR

2026

Dedicatoria

A mis padres Edwin y Tatiana, mis queridos hermanos Emilia, Sarai y Martín, que han sido un apoyo fundamental a lo largo de mi vida personal. De igual manera, quiero dedicar esta tesis a Elio, todos no solo me han brindado todo su apoyo durante este trayecto, sino también me han enseñado que todo sacrificio tiene su recompensa. A todos ellos, mi mayor admiración.

David Peralta C.

Agradecimiento:

A todos los profesores que conforman la escuela de ingeniería mecánica automotriz, sobre todo al Ing. Daniel Cordero por su apoyo incondicional en todo momento durante el desarrollo de esta investigación.

Modelo de obtención de consumo de combustible de vehículos de carga pesada

Resumen

Dentro del presente artículo se evaluó la precisión de un modelo para obtener el consumo de combustible de una flota de camiones de carga pesada, se comparó los resultados de consumo obtenidos a través del método de medición con obtención de datos por medio de la ECU en condiciones de manejo real, frente a un modelo de simulación en software (simulink), dicha comparativa nos indicó que tan fiable fue el modelo. Las variables que influenciaron en la medición son: condiciones ambientales, características del combustible, especificaciones de motor y caja de cambios de cada vehículo. Para comparar las gráficas resultantes se obtuvo el coeficiente de determinación de 0.89, teniendo en cuenta que dependiendo de las rutas y condiciones de funcionamiento tales como peso y condiciones geográficas hicieron que las gráficas en distintas rutas varíen dicho coeficiente

Ing. Robert Rockwood
Director de Escuela.

Ing. Daniel Cordero Moreno
Director del trabajo de titulación.

David Peralta Cárdenas
Estudiante

Model for obtaining fuel consumption data for heavy goods vehicles.

ABSTRACT

This article evaluates the accuracy of a model for calculating fuel consumption in a fleet of heavy-duty trucks. The consumption results obtained through direct measurement via the ECU under real-world driving conditions were compared to those of a software simulation model (Simulink). This comparison determined the model's reliability. The variables influencing the measurements were environmental conditions, fuel characteristics, and the engine and transmission specifications of each vehicle. The resulting graphs yielded a coefficient of determination of 0.89. It should be noted that factors such as route selection and operating conditions, including weight and geographical features, caused the graphs to vary across different routes.

Ing. Robert Rockwood
Director de Escuela.

Ing. Daniel Cordero Moreno
Director del trabajo de titulación.

David Peralta Cárdenas
Estudiante

Modelo de obtención de consumo de combustible de vehículos de carga pesada

Peralta Cárdenas David Santiago

Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología,

Escuela de Ingeniería Automotriz,

Av. 24 de Mayo 7-77 y Hernán Malo, Cuenca, Ecuador

dasantiago76@es.uazuay.edu.ec

I. INTRODUCCIÓN

El sistema de transporte de carga pesada conforma uno de los pilares fundamentales dentro del comercio nacional e internacional en el país, debido a su papel en la distribución y logística de productos dentro del territorio ecuatoriano y en la conexión logística con otros países. Este sector no solo impulsa la economía y la generación de fuentes de trabajo, sino que también influye de forma directa en el consumo energético y en un impacto ambiental [1].

En los últimos años, ha incrementado de manera significativa el parque automotor. Según la agencia Nacional de Tránsito en el año 2024 se registró más de 3,138 millones de vehículos, representando un incremento de más del 1.96% en comparación al año 2023 [2] y así teniendo un incremento con años anteriores, tal cual se indica en la Figura 1

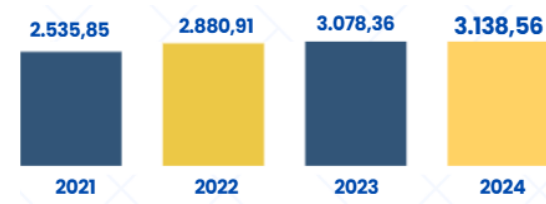


Figura 1 Vehículos matriculados en el año 2024

De este número total de automotores, se matricularon aproximadamente más de 2800 unidades de carga pesada; pues el presente estudio se enfocó en este tipo de vehículos.

El aumento de vehículos ha provocado un incremento en más del 9% en el consumo de diésel a nivel nacional, esto entre los años 2021 a 2024. A pesar que Ecuador es un país productor de petróleo, la cantidad necesaria para cubrir la demanda supera la producción nacional, por lo que es necesario importar combustibles para satisfacer dicha demanda. En 2023, el país produjo 11,7 millones de barriles de petróleo, importó 32,2 millones y consumió 32,3 millones, lo que evidencia

una dependencia de la importación de combustibles [3].

Este consumo implica también un alto costo fiscal. El Gobierno ecuatoriano destinó más de 1.200 millones de dólares en subsidios al diésel en 2023, cubriendo aproximadamente el 53,59 % del valor real por galón. Estos subsidios, aunque benefician temporalmente al transporte y la producción, generan un impacto económico considerable en el presupuesto estatal [4].

Actualmente el gobierno ecuatoriano ha decretado eliminar totalmente el subsidio del Diésel, lo que provocó un aumento del 55% por costo de galón.

Frente a esta problemática, la eficiencia en el uso del Diésel se ha convertido en una prioridad para las empresas transportistas y para las entidades gubernamentales. No obstante, para optimizar el consumo, es indispensable contar con métodos de medición, tanto precisos como confiables que permitan evaluar el rendimiento real de los vehículos en condiciones reales de operación. Actualmente existen varios métodos para obtener dicho consumo de combustible, entre ellos están:

1.1-Método Gravimétrico.

El método por gravimetría consiste en medir la masa de combustible, antes y después de cualquier prueba. Con esta diferencia de masas se calcula el consumo total partiendo del volumen [5].

Utilizando la densidad del combustible y el volumen del mismo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{m_{inicial}}{\rho \cdot (T,P,h)_{inicial}} - \frac{m_{final}}{\rho \cdot (T,P,h)_{final}} \quad (1)$$

Donde:

V=Volumen.

m=masa.

T=Temperatura.

h=Humedad.

P=Presión.

ρ =Densidad del combustible.

1.2-Método Volumétrico.

El método volumétrico consiste en medir el consumo de combustible a partir del flujo volumétrico que circula por la línea de alimentación de combustible. Para esto se instala un flujómetro, quien registra el flujo instantáneo $q(t)$ del combustible, a partir de ello se obtiene el consumo total integrando el flujo en función del tiempo, según la siguiente expresión [6]:

$$V = \int q(t) dt \quad (2)$$

1.3-Método de balance de carbono.

El método de balance de carbono se basa en el principio de conservación de la masa de carbono: todo el carbono contenido en el combustible quemado se transforma en productos medibles (CO_2 , CO, HC) [12].

En la medición se recolectan datos durante las pruebas en condiciones de ruta reales. Además, se utiliza un modelo de sensores electroquímicos para la detección de CO en ppm para los motores de bajos niveles de CO [7].

El consumo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$m = \frac{0.8656 \cdot m_{hc} + 0.4288 \cdot m_{co} + 0.2729 \cdot m_{co2}}{6.4487 \cdot \%V_{gas} + 4.1102 \cdot \%V_e} \quad (3)$$

Donde:

m_{hc} = masa de hidrocarburos.

m_{co} = masa de monóxido de carbono.

m_{co2} = masa de dióxido de carbono.

$\%V_{gas}$ = porcentaje de combustible.

$\%V_e$ = porcentaje de etanol en el combustible.

1.4-Método de OBD II.

El método de OBD II consiste en obtener los datos de consumo, a través de la ECU, directamente con una señal de estimación a través de telemetría, de acuerdo a las necesidades del motor.

La telemetría automotriz consiste en la adquisición, transmisión y análisis remoto de datos generados por la ECU del vehículo. Esta información se obtiene principalmente mediante el puerto OBD II (On-Board Diagnostics II), un estándar internacional que permite acceder a parámetros de funcionamiento del motor y otros sistemas del vehículo [8].

1.5-Condiciones de medición.

Todos estos métodos de obtención de rendimiento, se realizan a través de dos tipos de pruebas; la primera, mediante laboratorio, para ellos se utiliza un banco

dinamométrico de chasis o motor, ingresando datos de rutas estandarizadas tal como lo indica la Figura 2, esta condición de prueba es más útil para diseño o estandarizar especificaciones de vehículos.

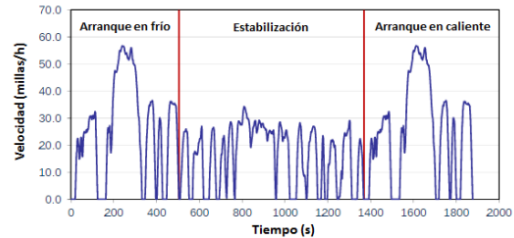


Figura 2 Ciclo de conducción FTP-75

La segunda condición consiste en pruebas de ruta reales, eso quiere decir; que se toma en cuenta condiciones de ruta tanto geográficas como de funcionamiento del vehículo [9].

Oliver Nunige realizó un estudio comparativo sobre los diferentes tipos de medición de combustible, tanto con el método gravimétrico como volumétrico, dichos métodos se los aplicó con dos tipos de pruebas, la primera fue en un banco dinamométrico de chasis y a través de una prueba de carretera en las condiciones geográficas de la ciudad de Pereira [6].

En la Tabla 1, se puede evidenciar los resultados de las diferentes pruebas y se demostró un coeficiente de determinación de 0.99 al igual que un intervalo de confiabilidad del 26%

Tabla 1. Resultados de comparativa de métodos

Ciclo	Método	Cmin[km/L]	Cmedio[km/L]	Cmax[km/L]	Cv[%]
FTP-75	Gravimétrico	13,4	13,7	14	1,5
	Volumétrico	12,0	12,3	12,6	2,1
LTC	Gravimétrico	14,4	14,9	15,3	2,4
	Volumétrico	13,4	13,9	14,3	2,2
Pereira laboratorio	Gravimétrico	13,3	13,7	14,1	2,0
	Volumétrico	12,2	12,4	12,7	1,4
Pereira ruta	Gravimétrico	10,5	10,8	11,2	5,4
	Volumétrico	9,9	10,2	10,5	2,6

Las pruebas de carretera constituyen el método más confiable para la obtención de datos reales, ya que permiten registrar las condiciones reales de funcionamiento del vehículo, tales como temperatura, presión, velocidad, aceleración, entre otras variables operativas. Asimismo, es posible obtener información geográfica real, como altitud, longitud y pendiente de la vía.

La recopilación de estos datos resulta más eficiente y menos invasiva para las unidades monitoreadas mediante el uso de sistemas de telemetría obtenidos directamente desde la ECU del vehículo y transmitidos a una nube digital especializada en este tipo de monitoreo, como Geotab, una plataforma en la que se almacena y gestiona toda la información generada por las unidades analizadas. La plataforma Geotab es un sistema avanzado de monitoreo vehicular que permite realizar seguimiento GPS en tiempo real, registrar rutas, distancias y tiempos de operación, además de analizar el comportamiento del conductor

mediante datos de velocidad, frenadas y aceleraciones. También ofrece diagnóstico del estado del vehículo a través de la lectura de códigos OBD II, alertas de mantenimiento y consumo de combustible. Su interfaz incluye paneles personalizables, reportes automáticos y una API abierta que facilita la integración con otros sistemas empresariales, convirtiéndolo en una herramienta completa para la gestión eficiente de flotas.

1.6- Método de simulación a través de la dinámica vehicular.

El método de simulación consiste en generar un modelo para predecir el consumo de combustible aplicando la teoría de la dinámica vehicular.

Parte de la sumatoria de fuerzas a la que el vehículo está sometido representado en un diagrama de cuerpo libre como se muestra en la Figura 3. [10]

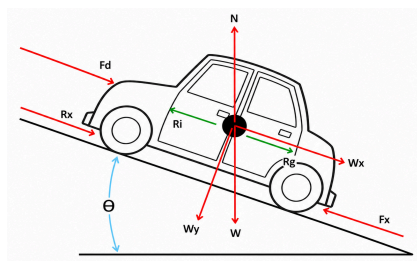


Figura 3 Diagrama de cuerpo libre (Fuente. Autor)

Donde:

$$F_x = R_x + R_i + R_g + F_d \quad (4)$$

Siendo:

R_x = Resistencia a la rodadura.

R_i = Resistencia a la inercia.

R_g = Resistencia a la gravedad

F_d = Fuerza de arrastre

Donde:

$$R_x = F_r * m * g * \cos\theta \quad (5)$$

$$R_g = m * g * \sin\theta \quad (6)$$

$$R_i = m * a \quad (7)$$

$$F_d = 1/2 * \rho * c_d * A * v^2 \quad (8)$$

Siendo:

F_r = Coeficiente de rodadura

m = masa

g = gravedad

θ = pendiente

a = aceleración

ρ = densidad del aire

C_d = Coeficiente de arrastre

A = área frontal

V = velocidad

Donde finalmente se obtiene:

$$\text{Potencia en rueda} = V(t) * F_x \quad (9)$$

$$\text{Potencia en motor} = \frac{P_{motor}}{\eta_{caja}} * \quad (10)$$

$$\text{Energía} = \int_{t_0}^{t_1} P_{motor}(t) dt \quad (11)$$

$$\text{Masa de combustible} = \frac{E}{\eta_{motor} * LHV} \quad (12)$$

$$\text{Volumen de combustible} = \frac{m_f}{\rho_f} \quad (13)$$

En el estudio de W, Guiñansaca realizado en la ciudad de Cuenca (Ecuador) validó el experimento de obtención de la medida del consumo de energía, a través de la comparación de sus resultados con datos de medición.

Este trabajo se realizó comparando el consumo energético de un vehículo de carga de pasajeros eléctrico, con el monitoreo de la unidad de media carga, durante 21 días, dando como resultado el gráfico que se puede observar en la Figura 4[11]

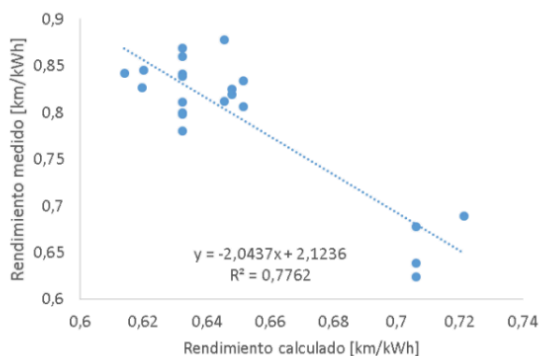


Figura 4 Comparativa de resultados

2.OBJETIVOS

2.1 Objetivo General.

Evaluar el modelo de consumo de combustible vs datos reales de conducción.

2.2 Objetivos específicos.

2.2.1. Recopilar datos de consumo de combustible de cada vehículo dentro de la flota.

2.2.2. Implementar el modelo de predicción de consumo de combustible en simulink.

2.2.3. Realizar las simulaciones de los viajes obtenidos

3. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se presenta el método llevado a cabo para realizar la comparación de los dos métodos de obtención de consumo de combustible. Se analizó el procedimiento de medición por telemetría y el método de simulación en software.

Se analizó el funcionamiento y consumo de una flota de vehículos de carga pesada, en este caso específico son camiones International Prostar 15.0. Que transportan gas doméstico por las rutas de la ciudad de Catamayo hasta la ciudad de Chorrillos y desde la ciudad de Catamayo hasta la ciudad de La Troncal. En primera instancia fue necesario crear una bitácora de viajes por cada unidad (camión) por un lapso de 2 meses con una cantidad de viajes como indica en la Tabla 2 de datos

del vehículo. Cada ruta fue monitoreada y descargada de la página de Geotab.

Las unidades enviaron datos obtenidos por la ECU a la nube digital y los datos fueron descargados como archivos de valores

Dicha página nos proporcionó valores tales como: Velocidad, aceleración, tiempo de funcionamiento de las unidades tanto en régimen de carretera como en ralentí.

Por cada viaje registrado se obtuvo un archivo de datos donde se registró también el tiempo[s] y distancia recorrida [x], dentro de dichos archivos los valores no cuentan con una interfaz entendible, lo que fue necesario ordenar los datos dentro de un software de programación como Python ilustrada en la Figura 5 , con la ayuda del código creado por investigadores del tecnológico de Monterrey donde se ordenaron los valores y así se obtuvieron los datos de combustible acumulado por cada intervalo de tiempo para finalmente conseguir el rendimiento medido

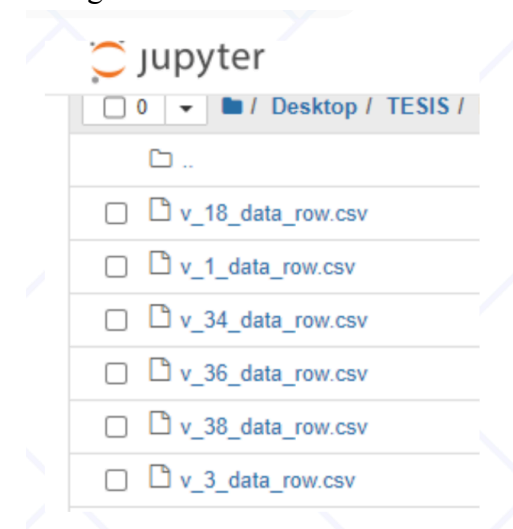


Figura 5 Combinación de archivos

Tabla 2 Bitácora de viajes

Vehículo	Ruta	# Viajes
A	Catamayo-Chorrillos	19
	Catamayo- La Troncal	10
	Chorrillos- Catamayo	19
	La Troncal-Catamayo	9
B	Catamayo-Chorrillos	10
	Catamayo- La Troncal	6
	Chorrillos- Catamayo	9
	La Troncal-Catamayo	6
C	Catamayo-Chorrillos	23
	Catamayo- La Troncal	6
	Chorrillos- Catamayo	22
	La Troncal-Catamayo	6
D	Catamayo-Chorrillos	15
	Catamayo- La Troncal	11
	Chorrillos- Catamayo	14
	La Troncal-Catamayo	11
E	Catamayo-Chorrillos	19
	Catamayo- La Troncal	11
	Chorrillos- Catamayo	19
	La Troncal-Catamayo	11
F	Catamayo-Chorrillos	11
	Catamayo- La Troncal	3
	Chorrillos- Catamayo	10
	La Troncal-Catamayo	3

3.2. Método de simulación:

El método de simulación consistió en generar un modelo para predecir el consumo de combustible, este modelo se creó en el software de ingeniería Matlab, específicamente con el módulo de simulink

Simulink utiliza un diagrama de bloques de entrada y salida de datos, dichos datos fueron tomados de las características específicas de los vehículos y de las condiciones climáticas. Con todos estos datos se aplicó el concepto de dinámica vehicular. Todo parte de la sumatoria de fuerzas del diagrama de cuerpo libre

Donde:

$$F_x = R_x + R_i + R_g + F_d \quad (13)$$

Siendo los datos del vehículo los indicados en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos del vehículo

Área frontal	8m ²
Coefficiente de arrastre	0,75
Presión	0,75 Kpa
Masa con carga	52.000 kg
Masa sin carga	23.380 kg
Coefficiente de a la rodadura	0,092

Una vez obtenido F_x se multiplicó por la velocidad, siendo esta variable y obteniendo de las mediciones de cada unidad, con ello se obtuvo la potencia en rueda [W] y para calcular el torque en rueda [Nm] se multiplicó F_x por el radio dinámico [0.56],

Dicha potencia se integró en función del tiempo[s] para que dé como resultado la energía consumida por un intervalo de tiempo.

Finalmente, se dividió la distancia recorrida[km] por la energía [Kwh] para obtener como resultado el rendimiento en rueda.

Con esto se concluyó el primer bloque del modelo de obtención de consumo indicado en la Figura 6 con los siguientes datos de entrada y salida mostrados en la Tabla 4.

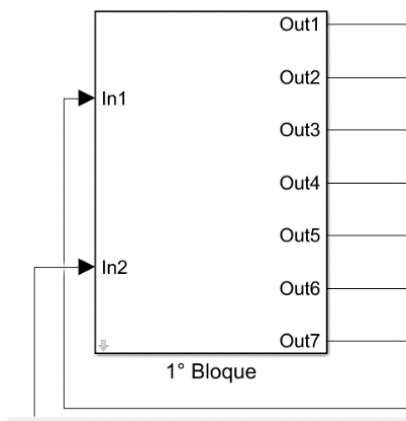


Figura 6 Bloque 1 de datos

Tabla 4. Datos de bloque de entrada

In 1	Velocidad [m/s]
In 2	Pendiente[Rad]
Out 1	Aceleración [m/s ²]
Out 2	Potencia en rueda[Kw]
Out 3	Distancia [Km]
Out 4	Rendimiento en rueda[Km/Kwh]
Out 5	Energía [Kwh]
Out 6	Torque en rueda[Nm]
Out 7	Radio Dinámico []

El segundo bloque fue de configuración del modelo fue módulo de caja de cambios, donde predecimos los cambios que realizamos y a que revoluciones se cambio de marcha. En la Tabla 5 se puede evidenciar los datos de entrada y salida del bloque.

Tabla 5. Datos de bloque 2

In 1	Velocidad [m/s]
In 2	Coefficiente de rodadura
Out 1	Cambio Utilizado
Out 2	Relación de Transmisión [Ntdi]

Las revoluciones a las que se realizan el cambio de marchas es de 1600 rpm debido que dichas revoluciones son las óptimas para obtener la mayor eficiencia del motor [13], estas se multiplicaron por el radio dinámico [Rd=0.56], por la relación del diferencial [nd=4.56], por la constante y dividido para 60 y así obtenemos la velocidad máxima en cada cambio. Siendo la mínima de cada cambio la máxima en el cambio inferior hasta que se obtuvo el control en 18 cambios.

Siendo la relación de transmisión de 1era= 14.4, 2da=12.29, 3era=8.56, 4ta=7.3, 5ta=6.05, 6ta=5.16, 7tma=4.38, 8va=3.74, 9na=3.2, 10ma=2.73, 11va=2.29, 12va=1.95, 13va=1.62, 14va=1.38, 15va=1.17, 16va=1, 17va=0.86, 18va=0.73

Finalmente se obtuvo los cambios en cada intervalo de tiempo y la relación de transmisión total [Ntdi].

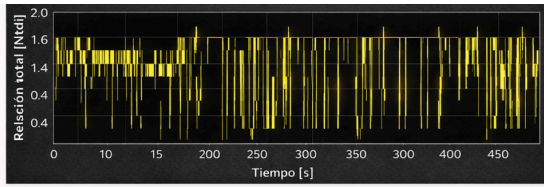


Figura 6 Relación de transmisión

Para el tercer bloque energético partimos del Torque de motor siendo igual al Torque en rueda dividido para la eficiencia de la caja de cambios y la relación de transmisión total de la caja[Ntdi].

En la Figura 6. se puede observar la gráfica la relación de transmisión de cada cambio en función del tiempo

La velocidad angular del motor es igual a la velocidad[m/s] multiplicado por la relación de transmisión total [Ntdi] y por 60, todo ello se divide para 2π por radiado dinámico [0.56] y 3.6

Potencia de motor es igual al Torque del motor por velocidad angular del motor y por $2\pi * /60$

Una vez obtenida la potencia del motor se procedió a calcular la potencia del combustible, siendo igual a la potencia de motor dividido para la eficiencia del motor [0.40]. Con dicha potencia de combustible se calculó el flujo másico dividiendo la potencia de combustible para el poder calorífico del diésel [44000 kJ/kg] y al dividir dicho flujo másico para la densidad del diésel [0.85 g/cm³] se obtuvo el volumen de combustible [12].

Se integró el volumen en función del tiempo y al multiplicar el resultado por la distancia recorrida se obtuvo el

rendimiento final, tanto en [km/L] cómo [km/gal].

En la Figura 7 y Tabla 6, se observan los datos de entrada y salida del tercer bloque

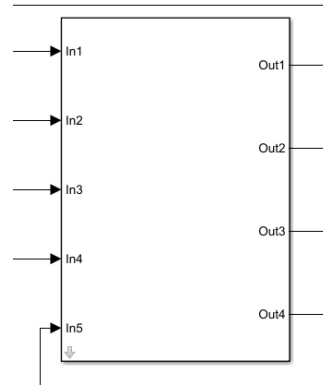


Figura 7 Tercer bloque de datos energético

Tabla 6. Datos de bloque 3

In 1	Torque en rueda[Nm]
In 2	Velocidad [m/s]
In 3	Radio Dinámico []
In 4	Relación de transmisión total
In 5	Distancia [Km]
Out 1	Masa de combustible [Kg]
Out 2	Volumen de combustible[L]
Out 3	Rendimiento de combustible [Km/l]
Out 4	Rendimiento de combustible [Km/g]

4.- RESULTADOS:

Tomando en cuenta que las rutas se dividen en dos condiciones de manejo, la primera es con un peso extra por la carga que transporta, en este caso alrededor de 27000 kg más al valor del peso del camión (aproximadamente 23380 kg), obteniendo un peso total de aproximadamente 50500 kg y la segunda condición fue con el tanque de carga

vacío. Con estos datos los resultados de consumo variaron tal como se puede observar en la Figura 8 además se midió en condiciones de carga y sin carga. Los datos obtenidos por medio de la telemetría o método de medición se indican en la Tabla 7 y Tabla 8.

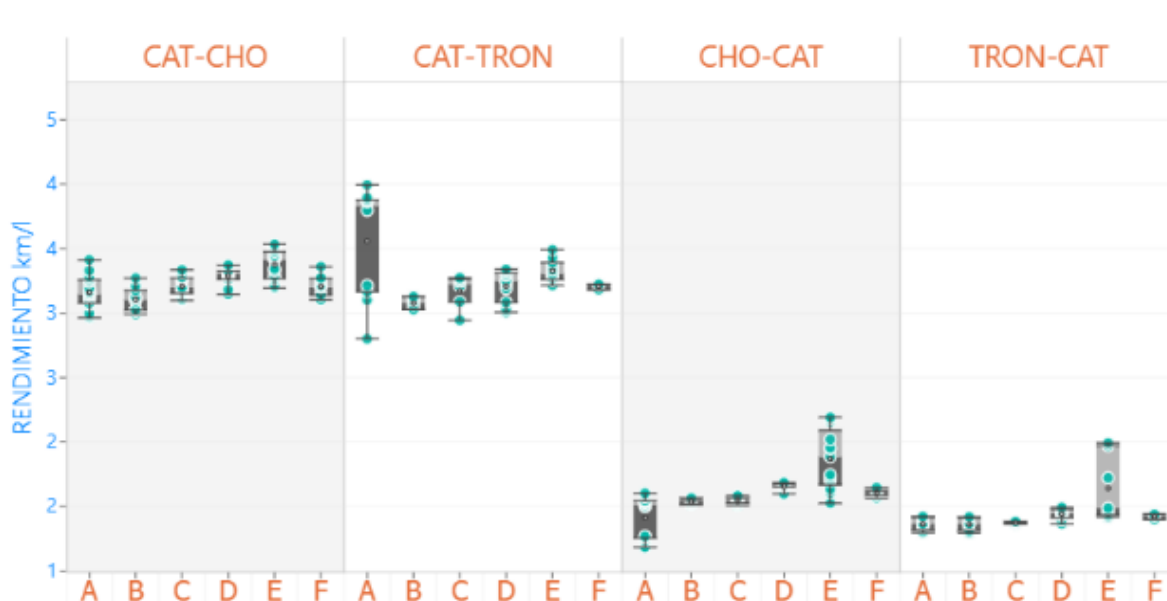


Figura 8 Camiones y rutas

Tabla 7. Valores de rendimiento [km/L] de vehículos sin carga

Valor	Cat-Cho						Cat-Tron					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Máximo	3,409	3,268	3,332	3,369	3,530	3,356	3,991	3,124	3,270	3,336	3,488	3,219
Mínimo	2,906	2,988	3,095	3,143	3,191	3,100	2,797	3,024	2,947	3,003	3,211	3,178
Mediana	3,143	3,101	3,196	3,301	3,411	3,199	3,826	3,078	3,233	3,247	3,302	3,212
Dispersión	0,180	0,156	0,118	0,065	0,280	0,129	0,713	0,098	0,174	0,227	0,132	0,040

Tabla 8. Valores de rendimiento [km/L] de vehículos con carga

Valor	Cho-Cat						Tron-Cat					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Máximo	1,599	1,562	1,579	1,681	2,188	1,643	1,418	1,415	1,379	1,488	1,440	1,435
Mínimo	1,180	1,509	1,503	1,594	1,521	1,561	1,293	1,291	1,360	1,362	1,414	1,397
Mediana	1,509	1,530	1,544	1,544	1,659	1,609	1,361	1,361	1,340	1,444	1,484	1,426
Dispersión	0,288	0,028	0,038	0,038	0,022	0,033	0,097	0,096	0,007	0,066	0,538	0,039

En la simulación de la flota se analizaron las rutas que cubren los tramos: Catamayo-Chorillos que recorre una distancia de 400 km con un total de 96 viajes entre todas las unidades y rendimiento de combustible varía entre 2.11 a 2.21 km/L y un coeficiente de determinación de 0.95

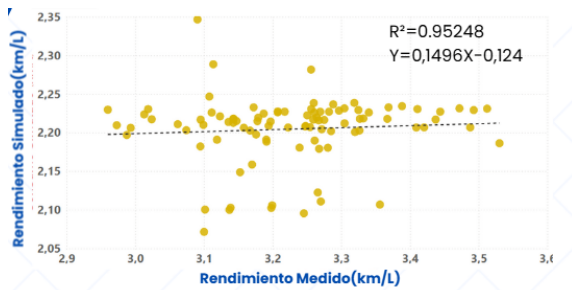


Figura 9 Resultados Ruta Cat-Chor

En la ruta Chorrillos-Catamayo con 93 viajes se obtuvo un rendimiento de 0.89 a 0.94 km/L y un coeficiente de determinación de 0.86.

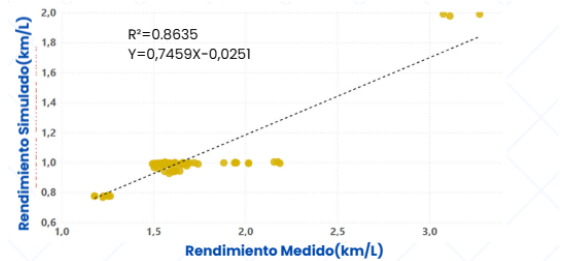


Figura 10 Resultados Ruta Chor-Cat

La ruta Catamayo-Troncal recorre una distancia de 320 km y una sumatoria de 47 viajes se obtuvo un rendimiento de 2.10 a 2.18 Km/L y un coeficiente de determinación de 0.81

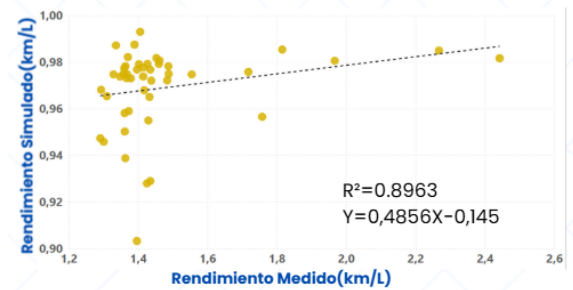


Figura 11 Resultados Ruta Cat-Tron

Mientras tanto, la ruta Troncal-Catamayo con 46 viajes y un rendimiento desde 0.92 a 0.96 Km/L y un coeficiente de determinación de 0.89

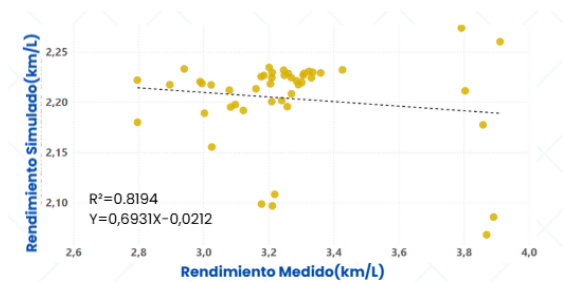


Figura 9 Resultados Ruta Tron- Cat

Una vez obtenidas las mediciones de consumo tanto por el método telemétrico como por el método de simulación, se generó una gráfica comparativa de los modelos para así obtener el coeficiente de determinación, lo que indicará qué tan confiable es el modelo.

Finalmente, el coeficiente de determinación total obtenido es de 0.89.

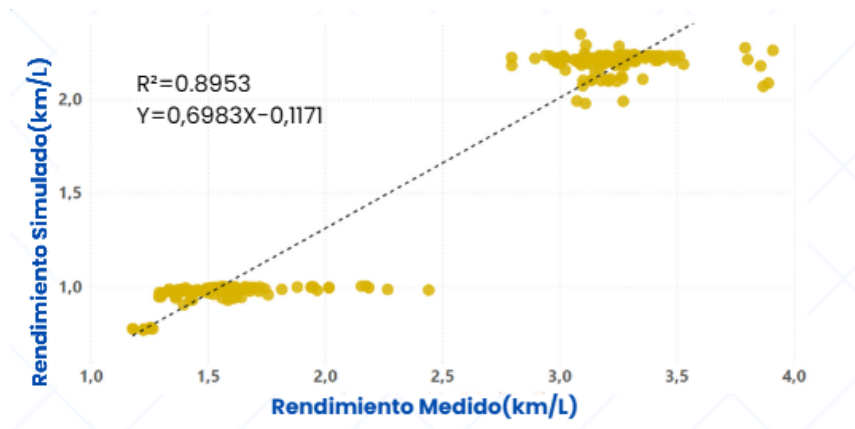


Figura 12 Resultados totales en todas las rutas

Tabla 9. Resultados de consumo promedio.

	CAT-CHO		CHO-CAT		CAT-TRON		TRON-CAT	
	Consumo Medido (L)	Consumo Simulado(L)	Consumo Medido (L)	Consumo Simulado(L)	Consumo Medido (L)	Consumo Simulado(L)	Consumo Medido (L)	Consumo Simulado(L)
A	128	182	260	410	104	169	232	346
B	130	181	265	408	107	143	232	324
C	127	185	263	410	100	144	229	323
D	125	183	250	409	99	145	221	311
E	122	184	225	409	96	142	194	323
F	128	194	254	430	99	152	222	342

Tabla 10. Resultados de rendimiento promedio.

	CAT-CHO		CHO-CAT		CAT-TRON		TRON-CAT	
	Rendimiento Medido(Km/L)	Rendimiento Simulado(Km/L)	Rendimiento medido(Km/L)	Rendimiento Simulado(L)	Rendimiento Medido(Km/L)	Rendimiento Simulado(Km/L)	Rendimiento Medido(Km/L)	Rendimiento Simulado(Km/L)
A	3,15	2,21	1,41	0,89	3,53	2,18	1,44	0,96
B	3,10	2,23	1,53	0,99	3,97	2,21	1,35	0,97
C	3,21	2,20	1,54	0,98	3,16	2,20	1,36	0,97
D	3,32	2,22	1,62	0,92	3,20	2,21	1,43	0,98
E	3,36	2,21	1,82	0,95	3,28	2,22	1,48	0,95
F	3,20	2,11	1,60	0,94	3,20	2,10	1,41	0,92

Tabla 11. Intervalos de confianza del rendimiento promedio

RUTA	TIPO	MEDIA(km/L)	IC 95% INFERIOR	IC 95% SUPERIOR
Cat-Cho	Medido	3,223	3,119	3,328
	Simulado	2,197	2,151	2,242
Cho- Cat	Medido	1,587	1,444	1,729
	Simulado	0,945	0,906	0,984
Cat-Tron	Medido	3,390	3,060	3,720
	Simulado	2,187	2,140	2,233
Tron-Cat	Medido	1,412	1,360	1,464
	Simulado	0,958	0,936	0,981

4. CONCLUSIONES:

4.1. La validación del modelo nos arrojó un coeficiente de determinación global de $R^2=0,89$, este resultado se dio en condiciones reales de funcionamiento.

4.2. Se logró recopilar y procesar datos reales de consumo de combustible, velocidad, aceleración, distancia recorrida, tiempo de operación de una flota de seis camiones de carga pesada. Los resultados permitieron identificar diferencias en el rendimiento final en función de la carga transportada y características geográficas tales como la pendiente de las rutas, observando menores rendimientos en rutas con carga y gradientes positivos.

4.3. Se implementó correctamente un modelo de predicción de consumo de combustible en el software Simulink, basado en la dinámica vehicular y en las características geométricas, aerodinámicas, mecánicas y energéticas de las unidades monitoreadas. El modelo permitió estimar la energía consumida, el volumen de combustible y el rendimiento del mismo por cada intervalo de tiempo y cada ruta.

4.4. Las simulaciones realizadas a partir de las rutas reales indicaron tendencias coherentes con los datos medidos a través de la telemetría. Se presentaron discrepancias entre los valores simulados y medidos, estas se mantuvieron dentro de los márgenes aceptables ya que fueron provocados por factores externos no controlados, tales como el estilo de conducción, las condiciones de tráfico, las

variaciones operativas y la pérdida ocasional de datos telemétricos.

4.5. Se determinó que la precisión del modelo mejora conforme aumenta la cantidad y calidad de los datos de entrada, lo que confirma que la telemetría vehicular constituye una herramienta fundamental para la validación y aplicación de modelos predictivos de consumo de combustible en flotas de transporte pesado

5. RECOMENDACIONES

5.1. Se recomienda, para futuras investigaciones, añadir datos variables como el estilo de conducción, tiempos de ralentí, circunstancias de frenado y condiciones de tráfico, esto con el fin de mejorar la precisión en la estimación del consumo de combustible.

5.2. Se sugiere garantizar el envío continuo y confiable de los datos telemétricos desde la ECU hacia la nube digital, ya que la pérdida de información influye directamente en la dispersión de los resultados y en la comparación entre el consumo medido y simulado.

5.3. Se recomienda estandarizar el uso de conductores por unidad según el comportamiento de conducción, con la finalidad de reducir la variación relacionada al factor humano y mejorar la consistencia de los resultados obtenidos.

6. REFERENCIAS

[1]Guzmán Olvera, J. A., & Hinojosa Villegas, N. E. (2016). *Diseño de un esquema de costeo estándar para la mejora del manejo de costos y utilidades en el transporte pesado* [Trabajo final de graduación, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. ESPOL Repositorio Institucional.

[2] Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2024). *Vehículos motorizados matriculados: Estadísticas*

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/>

[3] Ministerio de Energía y Minas del Ecuador. (2023). *Balance energético nacional 2023*.

https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2024/08/BEN_2023-final_compressed.pdf

[4]Ministerio de Economía y Finanzas del Ecuador. (2022). *Anexo 3: Subsidios 2023*.

https://www.finanzas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/10/Anexo-3_Subsidios-2023.pdf

[5] Gravimetric approach of fuel consumption in 30% biodiesel blends fuel: cost-effective solution of real-world fuel consumption measurement (2024). *Cogent Engineering*. DOI:

10.1080/23311916.2024.2345512.

Disponible en:
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2024.2345512>

[6] López, J. C., Castillo, J. C., Serrato, D. A., Tibaquirá, J. E., & Carvajal, S. A.

(2020). *Development of a fuel consumption measurement methodology for light-duty vehicles in Colombia, based on metrologprinciples*. DYNA, 87(212), 47-56. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/496/49663642006/html/>

[7] Nunige, O. (2018). *Evaluación y comparación de métodos de medición de consumo de combustible para laboratorio y ruta en un vehículo liviano* (Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira). Universidad Tecnológica de Pereira. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/2f121664-83f4-48db-bfee-bdc78508589a/content>

[8] Mohedano-Calderón, Ó., Martínez-García, A., & González-López, V. (2023). *Data acquisition for condition monitoring in tactical vehicles: On-board computer development*. Sensors, 23(12), 5645. <https://doi.org/10.3390/s23125645>

[9] Rojas Hiedra, D. F., Barros Ayabaca, P. E., & Torres Alvarracín, J. E. (2023). *Telemetría de datos de vehículo eléctrico Renault Kangoo desde el puerto OBD2 hacia un servidor mediante un módulo GSM*. Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13891>

[10] Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. SAE International.

[11] Guiñansaca Chinchilima, W. M. (2021). *Metodología para la configuración energética de un bus eléctrico: Caso de estudio: Líneas 27 y 100 del sistema de transporte público de*

la ciudad de Cuenca – Ecuador (Trabajo de titulación, Universidad del Azuay). <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/11361/1/16898.pdf>

[12] Akita, M. (HORIBA). (2013). *Application note — Real-time fuel consumption measurement using raw exhaust flow meter and AFR sensor*. HORIBA.

[13] Fan, P., Yang, Z., Xu, Z., Shangguan, W., Ai, X., Liu, W., Wang, F., & Zhou, H. (2024). *Fuel consumption estimation based on operation data for heavy-duty trucks*. Energies, 17(12), 2649.