



Grupo eumed.net / Universidad de Málaga y
Red Académica Iberoamericana Local-Global
Indexada en IN-Recs (95 de 136), en LATINDEX (33 DE 36), reconocida por el DICE, incorporada a la
base de datos bibliográfica ISOC, en RePec, resumida en DIALNET y encuadrada en el Grupo C de la
Clasificación Integrada de Revistas Científicas de España.

Vol 12. N° 34

Junio 2019

www.eumed.net/rev/delos/34/index.html

ANÁLISIS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR EFECTO DE LA SELECCIÓN DEL TREN MOTRIZ EN LOS TAXIS DE IBARRA, ECUADOR

Fredy A. Rosero Obando¹

Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
farosero@utn.edu.ec

Fausto E. Tapia Gudiño²

Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
fetapia@utn.edu.ec

Luis A. Garzón Pérez³

Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
lagarzon@utn.edu.ec

Víctor Cevallos⁴

Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
vcevallos@utn.edu.ec

CONTENIDO

Resumen	2
Abstract	2
1. Introducción.....	3
2. Fundamentación teórica.....	3
3. Metodología	5
4. Análisis de resultados	10
5. Conclusiones.....	15
6 Referencias bibliográficas	15

¹ Magister en Ingeniería del Transporte, Diplomado Superior en Autotrónica, Ingeniero Automotriz. Docente en la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra – Ecuador.

² Magister en Ingeniería Industrial y Productividad, Ingeniero Mecánico. Docente en la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra – Ecuador.

³ Magister en Energías Renovables, Magister en gestión de proyectos, Ingeniero Mecánico. Docente en la Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra – Ecuador

⁴ Ingeniero en Mantenimiento Automotriz. Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra – Ecuador.

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo estimar la disminución del consumo de combustible como efecto de una correcta selección del tren motriz de los vehículos utilizados para el servicio de taxi en la ciudad andina de Ibarra, Ecuador. El estudio se basa en el análisis del desempeño cinemático de varios modelos de autos livianos en vías urbanas y perimetrales, mediante una metodología propuesta de seis etapas.

En la primera parte se realizó una caracterización de la flota vehicular de las 46 operadoras de taxi de Ibarra. Luego se eligieron los cinco modelos de vehículo más utilizados, que representan el 70% de la flota. A continuación, con la utilización de equipos GPS se realizó la identificación de las pendientes más críticas en la geografía de la ciudad. En la siguiente parte, se obtuvieron las curvas de torque y potencia de cada modelo de automotor seleccionado, con la utilización de un dinamómetro de rodillos. Utilizando Matlab, se calculó la capacidad de ascenso del tren motriz de cada vehículo en función de la velocidad de circulación. Finalmente, se compararon los valores de las capacidades de ascenso respecto a las pendientes más críticas.

Se concluyó que el desempeño cinemático de los trenes de potencia de los cinco modelos analizados cumple con las exigencias de la geografía de la ciudad, pero todos están sobredimensionados en más de un 50%. El modelo Kia Rio de 1339 cm³ tiene la menor capacidad de ascenso, pero a su vez, es el vehículo que tiene menor consumo de combustible. Si se reemplazara con este automóvil a los otros cuatro modelos de autos que representan el 56% de la flota, se estima una reducción del 12% del consumo de combustible y del 38% del factor de emisiones de CO₂ que se producen en las condiciones actuales.

Palabras clave: Cinemática, capacidad de arranque, pendientes, consumo combustible.

Clasificación JEL: L92, L62, R41, R48

ABSTRACT

The following research has the objective of project the decrease in fuel consumption as an effect of a correct powertrain selection of the vehicles used for taxi service of the Andean city of Ibarra, Ecuador. The study is based on the kinematic performance analysis of a number of different light vehicles on the urban and suburban areas, by means of a six-stage methodology.

On the first stage, a vehicle fleet characterization was made for each of the 46 taxi operators of Ibarra. The Five most representative models were chosen afterwards, which represent the 70% of the entire fleet.

Later the most critical slopes in the geography of the city were gathered using GPS equipment. In the next part, Power and torque curves were obtained for each vehicle with the use of a rollers dynamometer. Matlab was used to calculate the powertrain ability for climbing on each vehicle in function of the riding speed. Finally, a comparison was made for the climbing abilities values, with respect of the most critical slopes.

It was concluded that the powertrain kinematic performance of all of the five tested models comply with the requirements of the geography of Ibarra, but all of the tested powertrains are oversized in more than 50%. The Kia Rio model with 1339 cm³ has the lowest climbing ability of the group, but it achieves the lowest fuel consumption as well. If the other four models, which stand for a 56% of the entire fleet, were replaced by this model, a decrease of 12% in fuel consumption and a 38% of CO₂ emissions could be achieved.

Key words: Kinematics, startability, slopes, fuel consumption

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Ibarra es la capital de la provincia de Imbabura, está ubicada al norte del Ecuador en una zona de clima templado, su altitud geográfica varía desde los 1,945 metros sobre el nivel del mar m.s.n.m. en las áreas más bajas hasta los 2,347 m.s.n.m. en la parte más alta, con un promedio de 2,220 m.s.n.m. de la zona urbana, con importantes variaciones en las zonas rurales alcanzando los 3,000 m.s.n.m. De ello, la topografía del suelo presenta pendientes que fluctúan entre el 5 y el 25% en las partes más inclinadas (PDOT, 2012).

El parque automotor de taxis de Ibarra consta de 46 operadoras de taxis convencionales y 14 operadoras de taxis ejecutivos, con un total de 1,253 vehículos con motores a gasolina (PMMCI, 2015). Para el remplazo o cambio de unidades actualmente el propietario del taxi suele seleccionar el nuevo automotor de una forma muy tradicional. Su criterio se basa en el costo comercial del vehículo, en la disponibilidad de piezas de reposición en el mercado local a bajo precio, y escogiendo la marca y modelo en función de su experiencia en el sector del transporte. Sin embargo, la selección debería realizarse con criterios más técnicos (PMMCI, 2015), por ejemplo, tomando en cuenta el tipo de tren motriz que permita un desempeño eficiente del vehículo en función de las condiciones geográficas de la ciudad, particularmente en el sector urbano y rural de la ciudad de Ibarra, donde existen pendientes pronunciadas por donde podría circular el vehículo.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Los vehículos convencionales con “tren motriz” aparentemente similares, tienen desempeños diferentes en igualdad de condiciones de operación, provocando desgaste prematuro de los componentes mecánicos y un elevado consumo de combustible (Morales, Lozano, 2007). Por ello es importante identificar varias características técnicas de fabricación del vehículo, tales como: cilindrada, torque y potencia del motor, consumo promedio de combustible, relaciones de caja de cambios y diferencial, peso bruto vehicular, dimensiones del neumático, entre otros. Si se consideran todos estos aspectos se puede lograr optimizar costos de operación, mediante la disminución en gastos en consumo de combustible (Morales, Lozano, 2007).

Debido a que en la mayor parte del tiempo los taxis circulan en las vías del sector urbano, éstos contribuyen significativamente a la congestión vehicular, el consumo de energía y la

contaminación del aire en las ciudades (Cai, Zhan, Jia, 2016). En Ecuador los prestadores del servicio de taxis asignan solo un 18% del total de ingresos diarios para la compra de combustible, mejorando sus ganancias debido al aprovechamiento del bajo costo de los combustibles derivado del subsidio provisto por parte del Gobierno. Para el año 2012 el gobierno ecuatoriano cubrió, a través de subsidios, el 68% del costo de combustibles para el sector privado y del transporte, representando alrededor de USD 3,880 millones de dólares asignados para este fin (Sierra, 2016). Los bajos precios para los combustibles han ocasionado que los patrones de movilidad en Ecuador, muestren preferencias por el uso de transporte individual como: auto privado, taxi o motocicleta; dejando de lado las preferencias para el transporte masivo (Rosero 2017).

De acuerdo al balance energético anual expuesto por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos del Ecuador (MICSE), se ha identificado que el transporte es el sector con mayor demanda para consumo de combustibles en el país. En el informe del 2012 (Sierra, 2016), se estimó que el consumo total de combustible en Ecuador fue 57 millones de barriles de petróleo equivalentes (BOE); siendo el diésel, la gasolina convencional, la gasolina de alta calidad, el queroseno y fuel oil los combustibles más utilizados. Para ese año el sector de transporte generó la mayor demanda de combustible con alrededor del 77%, destacándose el segmento de transporte por carretera como el mayor consumidor con alrededor del 80%. La estimación de CO₂, N₂O y CH₄ producidas en ese año por el transporte por carretera en Ecuador, representó un total de 14.3 millones de toneladas de GHT a la atmósfera, principalmente producido por los vehículos privados. La emisión de CO₂ es considerablemente más alta que otros contaminantes, lo que representa alrededor del 99% de las emisiones totales (Rosero 2017).

Para lo referente a la obtención del cálculo y medición del rendimiento y eficiencia de los vehículos; es una tarea bastante compleja, ya que es necesario considerar los efectos variables producidos por factores ambientales y geográficos como: la velocidad, la dirección del viento, la temperatura y las pendientes en ascenso y descenso. Razón por la cual, se procede a utilizar un dinamómetro de chasis, el cual es un dispositivo capaz de medir fuerzas en las ruedas o el motor de un automóvil variando la velocidad y potencia obtenida a través del tren de potencia (Wager, 2014).

El tren motriz es un conjunto de elementos mecánicos que transmiten la energía proporcionada por el motor hacia las ruedas y que permite el desplazamiento de un vehículo. Cada mecanismo que forma parte del tren de potencia se encuentra relacionado con los demás componentes; por ello el procedimiento de selección del tren no es una tarea fácil (Morales, Cervantes, 2004). Así pues, con el objetivo de disponer de mejor calidad de información sobre el desempeño y eficiencia de los vehículos, en el presente trabajo se evalúa el desempeño cinemático del tren de potencia de los principales modelos de vehículos utilizados para taxis en Ibarra, en función de las pendientes más críticas identificadas en la ciudad.

Las consideraciones fundamentales para la selección del tren motriz son: la naturaleza del transporte, el desempeño del vehículo, la ruta de operación crítica y tomar en cuenta la normativa vigente (Morales, Lozano, 2007). Específicamente, las características del tren motriz deben enmarcarse en cumplir con los siguientes requerimientos: capacidad de arranque, capacidad de

ascenso en pendientes, velocidad de operación máxima, aceleración, capacidad de carga y uso eficiente del combustible (Rosero 2017).

La capacidad de arranque o startability se refiere a la pendiente máxima en la que el vehículo puede iniciar el movimiento, partiendo desde el reposo (Wager, 2014). Para calcular la capacidad de arranque se utiliza la ecuación (1):

$$S = \frac{T \cdot Pd \cdot P1 \cdot Rll}{10.7 \cdot PBV} \quad [1]$$

Donde S representa la capacidad de arranque expresada en porcentaje %, T es el Torque máximo del motor en N.m., Pd es la relación de paso del diferencial, P1 es la relación de paso de la primera velocidad, Rll representa las revoluciones por kilómetro del neumático y PBV es el peso bruto vehicular en kg.

La capacidad de ascenso o gradeability se define como la capacidad que tiene un vehículo para subir una pendiente (Sierra, 2016) . La capacidad de ascenso se calcula mediante la ecuación (2). Revoluciones por minuto rpm del motor disminuyan al grado de no permitir el avance del vehículo.

$$G = \frac{73,5 \cdot Pr}{PBV \cdot 10^{-3} \cdot Va} \quad [2]$$

Donde G representa la habilidad de ascenso en pendiente en %, Pr es la potencia de reserva en kW, PBV es el peso bruto vehicular en kg y Va es la velocidad aparente expresada en km/h.

Sin embargo, la mejora del estilo de conducción y la puesta en práctica de normas de mantenimiento son importantes para lograr la reducción de costos de combustible y contaminantes. Por último la eficiencia energética y principalmente: tipo de vehículo, pendientes de la ruta y la conducción, con sus eventos tales como: desaceleración repentina y aceleraciones bruscas, etc. Han permitido desarrollar una metodología que se plantea ha demostrado ser útil para la valoración del problema, ya que se convierte en una herramienta de decisión-soporte para fines de optimización y eficiencia (MDQ 2005).

3. METODOLOGÍA

La metodología propuesta en este trabajo, se compone de seis etapas según se muestra en la Fig. 1:

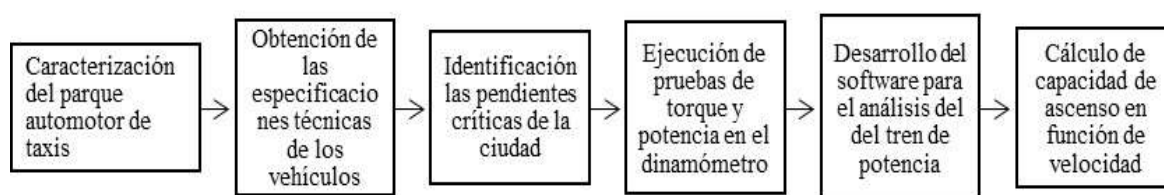


Fig. 1. Metodología para estimar el efecto de las intersecciones semaforizadas en el consumo de combustible

Durante la primera etapa se realizó una “caracterización del parque automotor de taxis” de las 46 operadoras de taxis de la ciudad de Ibarra (PMMCI, 2015). En esta etapa fue importante identificar los modelos y marcas de vehículos preferidos para la compra por parte de los operadores de la flota de taxis de la ciudad. Se registraron varias especificaciones del vehículo como: marca, modelo, año de fabricación, cilindrada de motor y país de origen. El acceso a la información fue autorizado por la Empresa Pública de Movilidad MOVIDELNOR-EP, institución pública local encargada de manejar las competencias de planificación, gestión, y control del Tránsito, Transporte Terrestre y Seguridad vial en la Cantón Ibarra (PRE 2018).

Como resultado se obtuvo que en Ibarra circulan 1,253 vehículos destinados al servicio de taxi, 859 corresponden a operadoras convencionales y 394 a operadoras de servicio ejecutivo. En la Fig. 2 se muestra la clasificación de los taxis de acuerdo con la marca de fabricación:

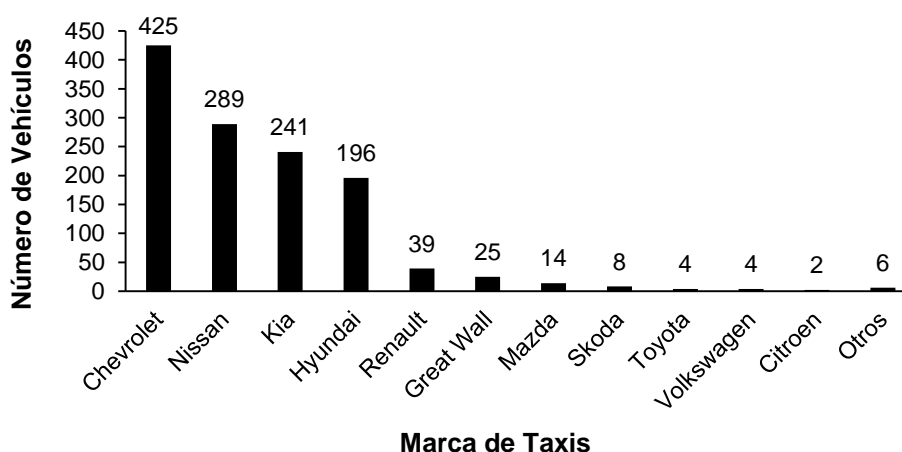


Fig. 2. Clasificación por Marca de Taxi de la ciudad de Ibarra

En la segunda etapa, “Obtención de las especificaciones técnicas de los vehículos” se seleccionaron los cinco modelos de vehículos más utilizados. Para lo cual fue necesario obtener de cada modelo las especificaciones técnicas de motor, caja de cambios, diferencial, neumáticos, pesos y capacidades de carga. En la Tabla 1. se muestra un ejemplo de las especificaciones técnicas obtenidas del Chevrolet Aveo Family / Chevytaxi.

Tabla I. Especificaciones Chevrolet Aveo Family

MOTOR		PESOS Y CAPACIDADES		TRANSMISIÓN	
Desplazamiento [cm3]	1,498	Peso vacío [kg]	1,040	Tipo	Mecánica 5 velocidades
No. Cilindros	4	Peso Bruto vehicular [kg]	1,455	Relaciones	
No. Válvulas	8	Capacidad de carga [kg]	415	1"	3,545
Potencia [Kw@rpm]	61.89@5600	Volumen de área de carga [l]	351	2"	1,952
Torque [Nm@rpm]	127.4@3000	Tanque de Combustible [l]	45	3"	1,276
Relación de Compresión	9.5:1	Capacidad de pasajeros	5	4"	0,971
Diámetro x Carrera [mm]	76.5x81.5			5"	0,763
				Reversa	3,333
				Relación fija de eje	3,944
				Número de dientes cono	16
				Número de dientes corona	68
				Neumáticos	185/60 R14

En la tercera etapa, se “Identificaron las pendientes críticas de la ciudad”, para lo cual se analizaron varias localizaciones geográficas dentro del sector urbano y perimetral de Ibarra; que permita identificar la variabilidad de pendientes existentes dentro de diferentes posibles rutas utilizadas por el servicio de taxi. Con el objetivo de calcular la pendiente de una ruta, se utilizó un equipo GPS GL-770 GPS Recorder Transystem Inc ©, para verificar la altitud existente entre dos puntos de una trayectoria de la ruta; para lo cual, se toma en cuenta la separación horizontal de 100 metros, que permita obtener como resultado la distancia “c” que representa la diferencia de alturas entre los dos puntos. Luego se calcula la pendiente de la vía utilizando la siguiente ecuación:

$$m = \frac{c}{\sqrt{100^2 - c^2}} \cdot 100 \quad [3]$$

Donde m es la pendiente de la vía en porcentaje [%] y c la altura entre los dos puntos de la vía.

En la cuarta etapa se “Ejecutaron pruebas de torque y potencia en el equipo dinamómetro” para cada uno de los cinco modelos de autos seleccionados. Se calculan las curvas y valores reales de torque y de potencia de los motores de cada auto. Para el estudio se utilizó un dinamómetro vehicular de marca Maschinenbau Haldenwang Maha LPS 3000 LKW, el cual cumple con las normativas DIN 70020, ISO 1585, SAE J 1349, propiedad del Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación de Emisiones Vehiculares, (CCICEV) de la Escuela Politécnica Nacional.

Se menciona que los vehículos utilizados para las pruebas contaban con muy buenas condiciones de estado mecánico, previamente los vehículos aprobaron la Revisión Técnico Vehicular del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ, 2005); además se verificó que los motores de los vehículos analizados tengan relaciones de compresión superiores a 125 psi, para garantizar su buen estado de funcionamiento..

Para iniciar las pruebas en el equipo dinamómetro es indispensable que el motor del vehículo se encuentre a una temperatura normal de funcionamiento. Después, se ubica las ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos. Por motivos de seguridad se fija al vehículo de manera que permanezca inmóvil durante la prueba. A continuación, se arranca el motor fijando la tercera o cuarta marcha de la caja de velocidades, la prueba se inicia en bajas rpm para luego acelerar a fondo. Finalmente se deja de acelerar para que el motor regrese a su estado de ralentí.

Para la obtención de los resultados de la prueba, se dispuso del software del equipo dinamómetro LPS 3000 LKW, los diferentes sensores electrónicos disponibles en el rodillo de alta inercia, permiten la obtención de la información necesaria para la construcción de las curvas de potencia y de torque de cada automotor, como se muestra en la Figura 3. Donde, se puede observar el resultado de la prueba realizada a un taxi marca Nissan modelo Sentra.

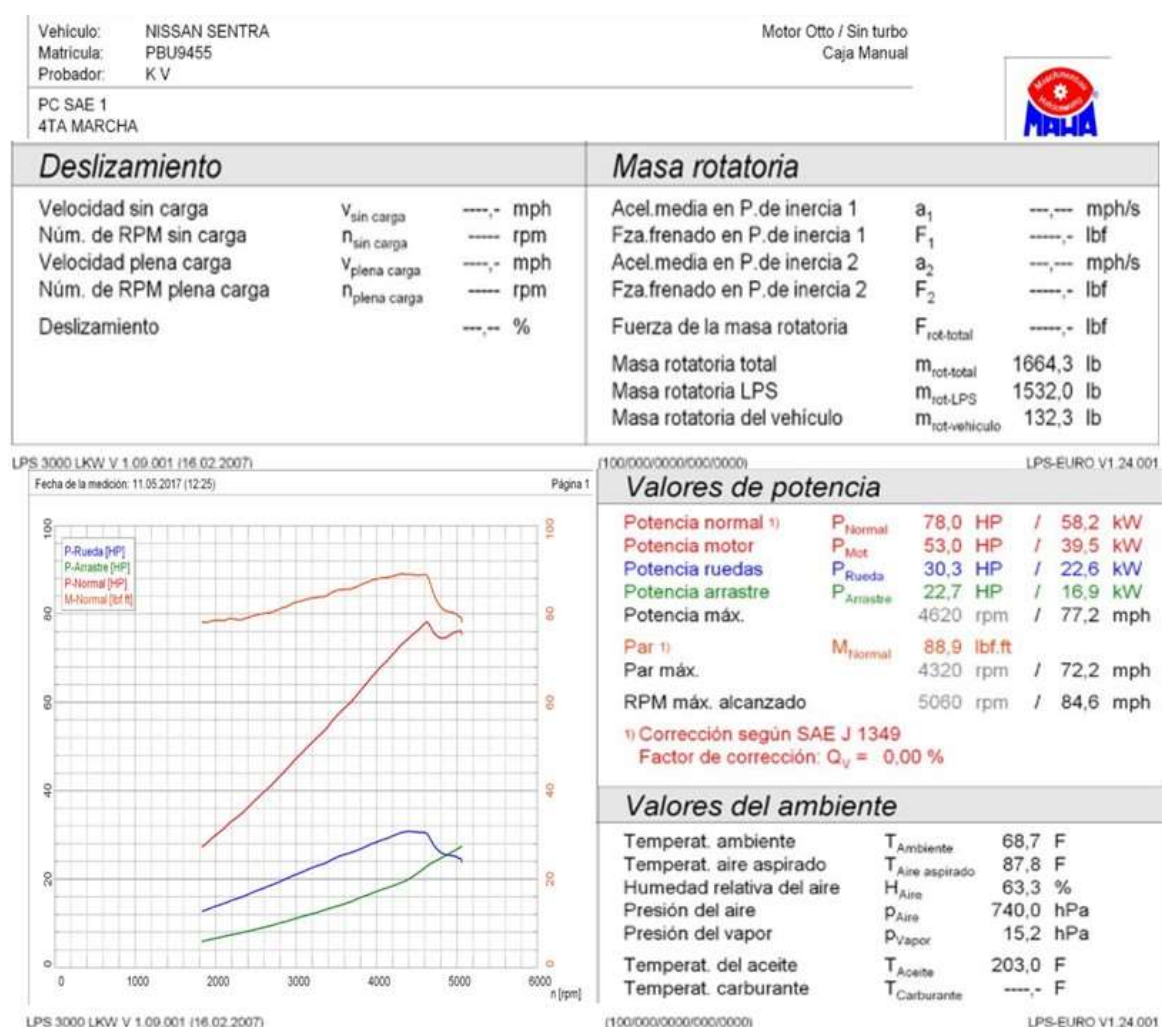


Fig. 3. Resultados del dinamómetro del Nissan Sentra B13

En la quinta etapa "Desarrollo del software para el análisis del tren de potencia", se desarrolló un algoritmo (modelo) basado en Matlab© que permita analizar la cinemática del tren de potencia y del vehículo en general. El algoritmo desarrollado permite el análisis cinemático de los elementos que conforman el tren de potencia con base en especificaciones del motor, relaciones de

caja de cambios y diferencial, neumáticos, pesos y capacidades de carga, pendientes de la ruta, velocidades de circulación, entre otras. Como resultado, el modelo genera las gráficas de las curvas de potencia y torque del vehículo, lo cual permite calcular la velocidad de circulación del vehículo en función de las revoluciones del motor por cada marcha de la caja de cambios de velocidad. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de la gráfica obtenida de la velocidad de circulación en función de las revoluciones del motor del vehículo de marca Chevrolet modelo Aveo Activo.

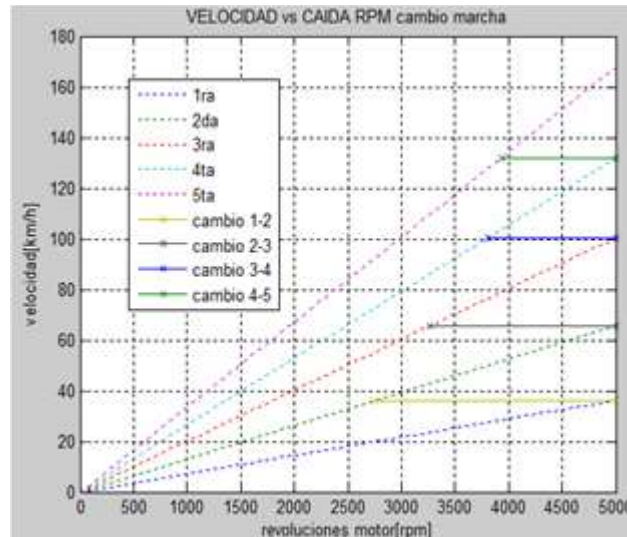


Fig. 4. Velocidad vs RPM del Chevrolet Aveo Activo

En la sexta etapa para el “Cálculo de capacidad de ascenso en función de velocidad”, el algoritmo utilizado permitió el cálculo del indicador de la “capacidad de ascenso del vehículo por cada marcha de velocidad en función de la velocidad de circulación” que fue uno de los objetivos planteados para el desarrollo de la presente investigación. Este indicador permite evaluar el desempeño cinemático del vehículo en una ruta con una inclinación determinada; además sirve para medir la eficiencia del vehículo en la ruta respecto al consumo promedio de combustible generado. En la Fig. 5 se presenta la gráfica de capacidad de ascenso obtenida para el vehículo de marca Chevrolet modelo Chevytaxi.

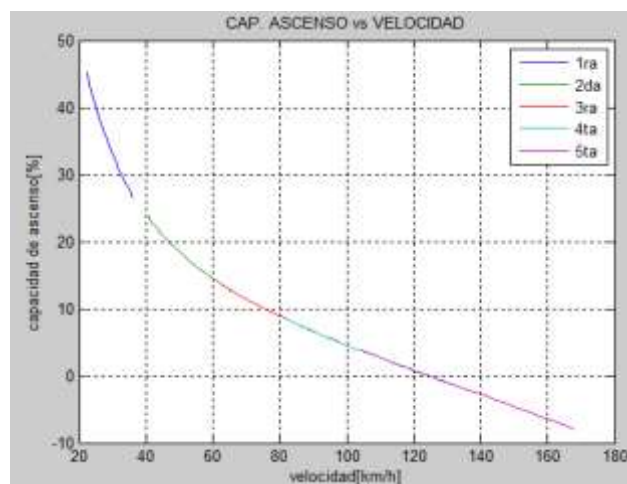


Fig. 5. Capacidad de arranque vs velocidad Chevrolet Chevytaxi

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en la caracterización de la flota vehicular de las 46 operadoras de taxis en la ciudad de Ibarra, se determinó que existen más de 13 marcas de vehículos con motores de gasolina, utilizadas para este tipo de servicio de transporte. Como se observa en la Tabla 1. los vehículos Chevrolet y Nissan son las marcas preferidas por parte de los operadores de taxi con un 34% y un 23% respectivamente. Seguidamente las marcas más utilizadas corresponden a Kia con un 19% y Hyundai con un 16%; el resto de marcas representan un 8% del total de la flota de taxis existentes en la ciudad.

Para fines de análisis de la presente investigación se eligen los cinco marcas y modelos más utilizados para el servicio de taxi, los cuales representan el 67% del total de la flota vehicular existente. Estos vehículos serán utilizados para realizar las pruebas que permitan determinar el análisis cinemático del tren de potencia en función de las condiciones geográficas existentes en la ciudad de Ibarra. En la Tabla 2. se muestran las unidades por cada marca y modelo, Nissan modelo Sentra B13 y el Chevrolet modelo Family/Chevytaxi corresponden a los tipos de taxi más utilizados con 249 y 136 unidades respectivamente, seguido por la marca Chevrolet modelo Aveo Activo con 136 unidades, la marca Kia modelo Rio 1.4 con 137 unidades y Hyundai modelo Accent 1.6 con 125 unidades.

Tabla II. Clasificación de taxis de Ibarra por marca y modelo

Marca	Modelo	n	Muestra [%]	Total	Marca	Modelo	n	Muestra [%]	Total	
Chevrolet	Aveo Activo	136	11%	425	Lifan	Lf6401	1	0%	2	
	Aveo Emotion	9	1%		Mazda	Lf716011	1	0%	14	
	Aveo Family / Chevytaxi	190	15%			Allegro	14	1%		
	Corsa	4	0%		Nissan	Almera	18	1%	289	
	Corsa Evolution	9	1%				Sentra 2.0	2		0%
	Esteem	1	0%				Sentra B13	249		20%
	Optra	5	0%				Tiida	19		2%
	Sail	71	6%		Peugeot	Versa Ac	1	0%	1	
	Citroen C-Elysee	2	0%				207 Sedan	1		0%
	Daewoo Lanos	1	0%		1	Renault	Xs	31	2%	39
Ford Fiesta	2	0%	2		Logan 1.6		8	1%		
Great Wall	Voleex C30	25	2%	25	Skoda	Dynamique	1	0%	8	
Hyundai	Accent 1.4	47	4%	196			Fabia Classic	1		0%
	Accent 1.5	7	1%			Toyota		Fabia Combi		6
	Accent 1.6	125	10%				Octavia	1	0%	
	Elantra	2	0%				Corolla	1	0%	4
	Getz	10	1%			Yaris	3	0%		
Kia	Matrix	5	0%	241	Volkswagen	Gol	3	0%	4	
	Cerato	19	2%				Santana	1		0%
								TOTAL	1,253	

Marca	Modelo	n	Muestra [%]	Total
	Rio R 1.4	30	2%	
	Rio 1.4	137	11%	
	Rondo Lx	4	0%	
	Stylus	51	4%	

En lo correspondiente con la segunda etapa propuesta dentro de la metodología de investigación, en la Tabla 3. se muestra una comparación de las principales especificaciones técnicas de las cinco marcas y modelos seleccionados. Allí se puede notar que el vehículo Nissan modelo Sentra, marca Chevrolet modelo Aveo Activo y marca Hyundai modelo Accent poseen una cilindra cercana a 1,600 centímetros cúbicos, siendo mayor el consumo de gasolina. El vehículo con mayor potencia corresponde a la marca Nissan modelo Sentra B13 con 78.29 kW a 6,000 rpm. El vehículo con mayor torque es la marca Chevrolet modelo Aveo Activo con 147 N.m. a 3,600 rpm. Otro aspecto importante para notar es que la marca Kia modelo Rio 1.4 es el auto más liviano con un peso en vacío de 890 kg.

Tabla III. Especificaciones técnicas en función de las marcas y modelos de vehículos

Especificaciones	Nissan Sentra B13	Chevrolet Family / Chevitaxi	Chevrolet Aveo Activo	Kia Rio 1.4	Hyundai Accent 1.6
Cilindrada cm3	1,597	1,498	1,598	1,339	1,599
No. de Cilindros	4	4	4	4	4
No. de Válvulas	16	8	16	16	16
Potencia [kW @ rpm]	78.29@6,000	61.89@5,600	75.2@6,000	75.2@6,000	75.2@6,000
Torque [Nm @ rpm]	138.3@4,000	127.4@3,000	147@3,600	119.3@4,256	145@4,700
Neumáticos	175/70S R13	185/60 R14	185/60 R15	185/60 R15	185/60 R14
Peso al vacío	957	1,040	1,125	890	1,130

Con respecto a la identificación de las pendientes críticas de la zona geográfica en la ciudad, se analizaron varios sectores dentro de la zona urbana y perimetral de Ibarra. Se calculó las pendientes de más de 15 sectores de la ciudad. La pendiente máxima encontrada corresponde a un ascenso ubicado en el sector del barrio Azaya con un valor de 20.41 % a una altura entre 2,248 y 2,268 msnm. En la Fig. 6 también se muestran tres pendientes más identificadas como críticas con alrededor del 18%, que se encuentran ubicadas en el sector de los barrios: El Tejar, San Cristóbal y 19 de enero. Las cuatro pendientes más críticas de la ciudad no están ubicadas en el hipercentro, sino que están situadas en su mayoría en zonas periféricas de Ibarra.

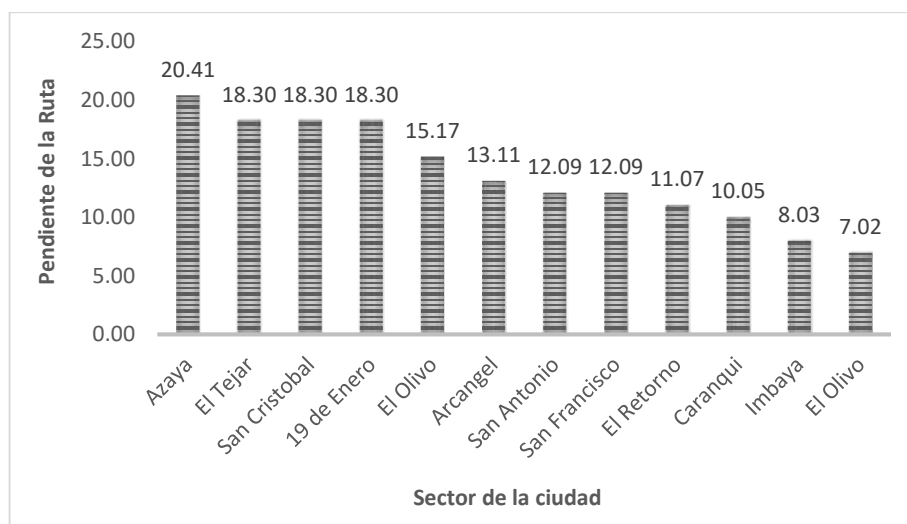


Fig. 6. Sectores de Ibarra con pendientes críticas

Luego de procesar los datos obtenidos en el banco de pruebas del dinamómetro y obtener las curvas de Torque y Potencia de los cinco vehículos, se obtuvieron resultados que se muestran en la Fig. 7 y Fig. 8:

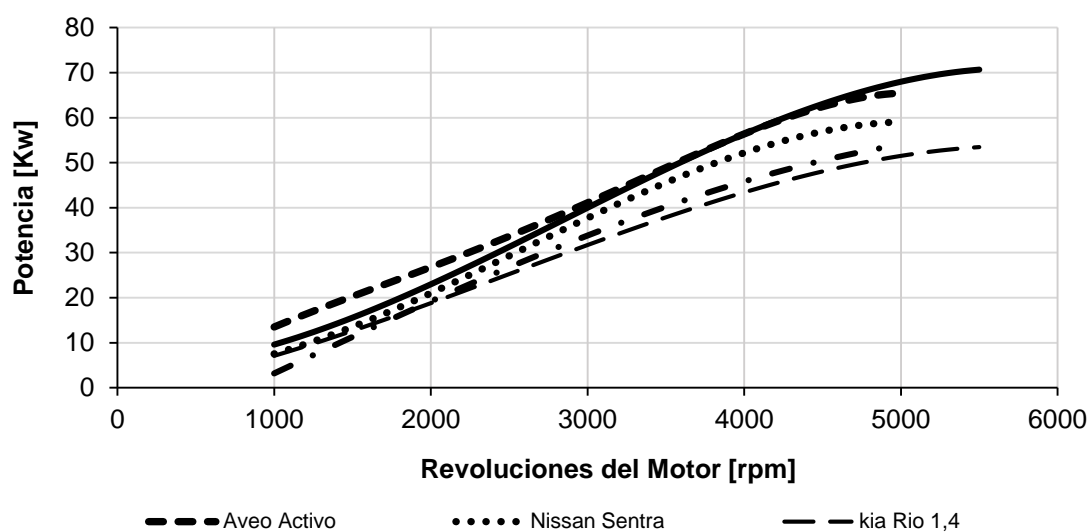


Fig. 7. Curvas de Potencia obtenidas en el dinamómetro

Es importante destacar que el vehículo con mayor Potencia y Torque es el correspondiente a la marca Hyundai modelo Accent con cilindrada de 1.6 centímetros cúbicos con Potencia de 70 Kw y Torque de 137 N.m., y el automotor de menor potencia y torque es la marca Kia modelo Rio 1.4 con Potencia de 54 Kw. y Torque de 100 N.m.

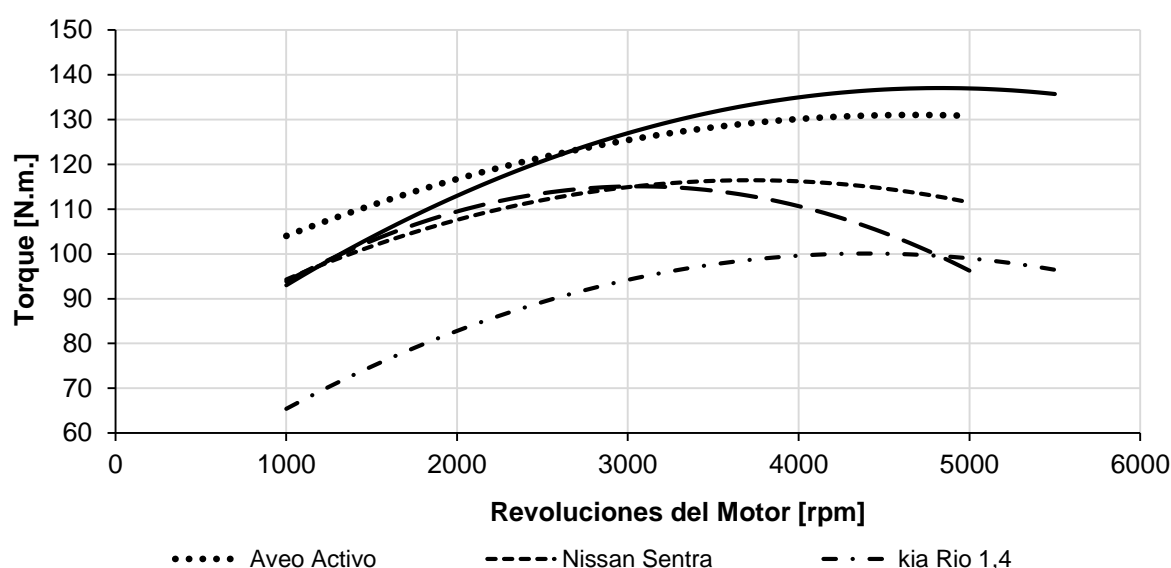


Fig. 8. Curvas de Torque obtenidas en del dinamómetro

Con base en el algoritmo (modelo) desarrollado en el software Matlab© se determinó la capacidad de ascenso de los vehículos utilizados para taxi en cada (posición de cambio de la caja de velocidades) en función de la velocidad de circulación. En la Tabla 4. se muestran los valores máximos de la capacidad de ascenso para cada vehículo en función de la posición de cambio de la caja de velocidades.

La marca Chevrolet modelo Familiy/Chevitaxi es el tipo de vehículo que presenta la configuración de caja de cambios, diferencial y neumáticos que le permite tener la mayor capacidad de ascenso. En la primera posición de cambio de la caja puede subir pendientes de hasta un 38% de inclinación, a pesar de tener un motor de 1,500 cm.3; la configuración de su tren de potencia sacrifica velocidad, pero adquiere mayor torque para los ascensos. La marca Kia modelo Rio1.4 es el auto con motor más pequeño, y es el que presenta la menor capacidad de ascenso con 29% en la configuración de la primera posición de la caja de velocidades

Por otro lado, si se toma en cuenta que la pendiente más crítica en la configuración geográfica de la ciudad de Ibarra corresponde a 20.4% en el sector del barrio Azaya, se determinó que todos los modelos de vehículos analizados poseen la capacidad de ascenso para las pendientes existentes en la zona urbana y perimetral de la ciudad de Ibarra.

Considerando la marca Kia modelo Rio que tiene la menor prestación para el ascenso, se determinó que su capacidad excede en un 50% los requerimientos de subida para las pendientes de la ciudad. Por lo tanto, se concluye que el dimensionamiento de los trenes de potencia de los cuatro modelos de autos restantes se encuentra sobredimensionados en más del 70% respecto a las exigencias de las condiciones geográficas de la zona urbana de la ciudad de Ibarra.

Tabla IV. Capacidad de ascenso de los vehículos

VEHÍCULO	CAPACIDAD DE ASCENSO				
	[%]				
	1ra	2da	3ra.	4ta	5ta.
Nissan Sentra B13	38	21	12	5	2
Chevrolet Chevitaxi	45	25	15	10	7
Chevrolet Aveo	35	18	9	4	2
Activo					
Kia Rio 1.4	29	15	8	3	1
Hyundai Accent 1.6	34	18	8	4	2

Si todos los vehículos cumplen con los requerimientos para el ascenso en las pendientes críticas de la zona urbana de la ciudad, es necesario analizar también el consumo de combustible generado por cada uno de éstos para realizar y cumplir con el mismo trabajo; de esta manera se determina este indicador que permitirá identificar cual marca y modelo de vehículo es el más eficiente.

En la Tabla 5. se muestra el consumo y emisiones para cada modelo de vehículo.

Tabla V. Estimación de emisiones CO₂ diarias en Ibarra

Marca y Modelo del vehículo	Unidade de Taxi	Rendimiento de Combustible	Emisión de CO ₂	Emisión CO ₂ por día (300 km)	Consumo de Gasolina por día
Chevrolet Aveo Activo	136	14.3	184	.01	754
Nissan Sentra B13	249	14.05	186	11.12	1,404
Hyundai Accent 1.6	125	11.5	150	4.50	861
Chevrolet Aveo Family	190	14.9	140	6.38	1,010
Kia Rio 1.4	137	15.7	114	3.75	691

Considerando un escenario que permita la sustitución de los vehículos de marca Nissan, Chevrolet, Hyundai por el vehículo marca Kia modelo Rio 1.4 y considerando un recorrido diario promedio de 300 km, se estima un ahorro por disminución en el consumo de combustible de 495 galones diarios, siendo 20,000 galones de combustibles al año. Es decir, si los operadores de taxi tuvieran en consideración esta marca y modelo de vehículo al momento de la compra, en términos monetarios se ahorrarían más de USD 30.000 dólares por año y en términos ambientales se evitaría la emisión de 3,230 toneladas de CO₂. Obteniendo una reducción del 38% de las emisiones actuales de CO₂ en el sector urbano de la ciudad, lo que permitiría mejorar la calidad del aire y consecuentemente la salud de sus habitantes.

5. CONCLUSIONES

En el sector urbano de la ciudad de Ibarra, los operadores de las flotas de taxis al momento de adquirir sus vehículos tienen preferencia de compra por las marcas y modelo: Nissan Sentra B13, Chevrolet Family / Chevitaxi, Chevrolet Aveo Activo, Kia Rio 14 y Hyundai Accent 1.6; constituyéndose con el 70% de los vehículos de taxis más utilizados que conforman el total del parque automotor de taxi. Se identificaron más de 15 sectores del sector urbano de la ciudad de Ibarra que presentan configuraciones geográficas con pendientes pronunciadas, identificándose la máxima pendiente con 20.4% en el sector del barrio Azaya.

En función del trabajo realizado en el banco de pruebas del dinamómetro, se identificó que el vehículo con mayor potencia y torque es la marca y modelo Hyundai Accent 1.6 con 70 Kw y 137 N.m. respectivamente y el automotor con menor potencia y torque es el Kia Rio 1.4 con 54 Kw. y 100 N.m. Como resultado principal se determina que la configuración de los trenes de potencia de las cinco marcas y modelos de vehículos analizados se encuentran sobredimensionados en más del 50% respecto a las necesidades y exigencias geográficas del sector urbano de la ciudad de Ibarra. Determinándose de manera técnica que el vehículo mejor adecuado a las características de ascenso en pendiente crítica de 29% pero que presenta la mayor reducción del consumo de combustible es la marca Kia modelo Rio 1.4. Se estima que en un escenario que permita el reemplazo de todas las unidades de las otras cuatro marcas y modelos, existiría una disminución anual de alrededor de 20,000 galones de combustible y del 38% de las emisiones de CO₂ que se producen en la actualidad

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PDOT, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Ibarra," p. 300, 2012.
- [2] PMMCI, "Plan Maestro de Movilidad del cantón Ibarra," p. 997, 2015.
- [3] C. Rafael-Morales, M. Lozano Guzmán, A. Cervantes De Gortari, J. López-Cajún, "Método para seleccionar el tren motriz de vehículos de transporte pesado con uso óptimo de combustible," 2007.
- [4] H. Cai, X. Zhan, J. Zhu, X. Jia, A. S. F. Chiu, and M. Xu, "Understanding taxi travel patterns," *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 457, pp. 590–597, 2016.
- [5] J. C. Sierra, "Estimating road transport fuel consumption in Ecuador," *Energy Policy*, vol. 92, pp. 359–368, 2016.
- [6] F. Rosero, L. C. M. Z., and R. X., "Análisis del consumo de combustible en autobuses urbanos por efecto de las intersecciones Semaforizadas," *Desarro. Local Sosten.*, vol. 10, pp. 1–13, 2017.
- [7] G. Wager, M. P. McHenry, J. Whale, and T. Bräunl, "Testing energy efficiency and driving range of electric vehicles in relation to gear selection," *Renew. Energy*, vol. 62, no. 2014, pp. 303–312, 2014.
- [8] Y. Morales and J. Cervantes de Gortari, "La selección del tren motriz basada en la eficiencia energética para vehículos de servicio pesado," *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 1, pp. 49–58, 2004.
- [9] Presidencia de la República del Ecuador, "Registro Oficial No 320 - Lunes 18 de Mayo de 2015 Edición Especial," no. 320, pp. 1–14, 2018.
- [10] Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, "Ordenanza Metropolitana No. 0159." p. 11, 2005.