

METODOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE REMOTORIZACIÓN, CASO DE ESTUDIO: MINIBÚS TOYOTA HIACE 5L CON MOTOR HYUNDAI KIA D4BB

METHODOLOGY AND EVALUATION OF REPOWERING, CASE OF STUDY: TOYOTA HIACE 5L VAN WITH HYUNDAI KIA D4BB ENGINE

RESUMEN

SEISA posee una flota de minibuses, fabricados hace más de 15 años, para apoyar el proceso de prestación de servicio. Sus averías más comunes se asocian a los motores. En este artículo se presenta una metodología para la remotorización de estos minibuses, fundamentada en ecuaciones dinámicas aplicadas al vehículo y la simulación de motores de combustión interna convencionales. El caso de estudio fue la remotorización de un panel Toyota HIACE 5L con motor y caja de velocidad HYUNDAI KIA D4BB. La modelación arrojó que tanto los indicadores dinámicos del vehículo remotorizado como el original, casi no guardan diferencias. Por tanto, la remodelación del Toyota, con el motor y caja de velocidad propuesto, es factible técnicamente y apto para la circulación vehicular.

Palabras clave: estudio, Hyundai, remotorización, Toyota

Dr. C. Ramón Pérez Gálvez

Sucursal SEISA Cienfuegos

ORCID: 0000-0003-0879-3263;

Email: ramon.perez@seisa.cu

Dr. C. José R. Fuentes Vega

ORCID: 0000-0002-7321-8903

Dr. C. Víctor Milló Carmenate

ORCID: 0000-0002-6280-7884

Est. Ing. Jaime Pérez Vera

ORCID: 0009-0002-4630-6905

ABSTRACT

SEISA has a fleet of minibuses to support the technical service process. These models have manufactured more than 15 years ago. Its most common failures are associated with the engines. Then, a methodology for the repowering of these minibuses was presented. It was based on dynamics equations applied to the vehicle and simulation of conventional internal combustion engines. The case study was the repowering of a Toyota HIACE 5L van with a HYUNDAI KIA D4BB engine and gearbox. The modeling of dynamic indicators for the repowering vehicle and the original have almost no differences. Therefore, the remodeling of the Toyota with the proposed engine and gearbox is technically feasible and does not constitute a problem for vehicular circulation.

Keywords: Hyundai, Repowering, Study, Toyota

Fecha de recibido: 17 / 04 / 2024

Fecha Aceptación: 08 / 09 / 2024

INTRODUCCIÓN

Tal como establecen Millo y otros (2019) la correcta gestión de flotas de vehículos incluye: el mantenimiento, la gestión de conductores, el control del combustible, la seguridad y los costos. Todo lo anterior debe proporcionar el incremento de la efectividad de la explotación del transporte automotor terrestre. También Fuentes y otros (2021) consideran la evaluación basada en indicadores, como la herramienta precisa para tomar decisiones.

Por otra parte, "el transporte es un alto consumidor de derivados del petróleo, muy por encima incluso del sector industrial en muchos países, y, dentro del sector del transporte, el automotor terrestre representa el principal consumidor de energía" (Pérez et al, 2017). Este consumo aumenta proporcionalmente con el empeoramiento del estado técnico del vehículo.

SEISA posee una flota de minibuses, que son vehículos multipropósito, en la cual se apoya, entre otros, el proceso de prestación de servicios. En la sucursal de Cienfuegos, existen tres brigadas integrales encargadas de la instalación y soporte técnico de los sistemas de seguridad de diversos clientes, a lo largo de toda la provincia y algunos territorios colindantes. Cada brigada integral posee un minibús en el cual se trasladan sus miembros y toda la logística necesaria.

Dos de estos tres vehículos poseen más de 15 años de trabajo. Entre ellos está el minibús Toyota HIACE 5L que fue fabricado en el año 2006 (ver figura 1). A pesar del deterioro presentado por el motor de este, el resto de los agregados, su estructura y tren de rodaje se encuentra en buenas condiciones, por lo que se evaluará el cambio del motor por otro nuevo: Hyundai KIA 4DBB. También se considerará el reemplazo de la caja de velocidad original, con muchas horas de explotación, por otra que se suministra junto al motor D4BB.



Figura 1. Vehículo Toyota HIACE 5L de la sucursal SEISA Cienfuegos. Fuente: elaboración propia.

Debido a que, las características técnicas del motor nuevo y la caja de velocidad difieren ligeramente respecto al original, este artículo presenta una metodología con la evaluación técnica del cambio, en este caso, orientada a los aspectos de la dinámica y el consumo. El objetivo es evaluar la factibilidad técnica de sustitución del conjunto motor- caja de velocidad Toyota HIACE 5L por otro Hyundai KIA 4DBB. a partir de las ecuaciones para simular el movimiento de los vehículos terrestres establecidas por Pérez (2007) y de los motores de combustión interna establecidas por Rodríguez (2011).

La elección del motor Hyundai KIA 4DBB con su caja de velocidad, para remotorizar el minibús Toyota HIACE 5L no se debe a determinadas preferencias, sino a: es un conjunto que se comercializa y además posee dimensiones físicas adecuadas para el reemplazo.

DESARROLLO

Especificaciones y características del vehículo antes y después de la remodelación

Especificaciones del vehículo original:

Tabla 1. Características técnicas antes de la remotorización. Fuente: elaboración propia.

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO ORIGINAL	
Tipo de vehículo	Minibús
Marca	Toyota
Modelo	HIACE
Matrícula	B 099 195
Motor original	
Motor	Diésel
Marca y modelo	5L
Potencia máxima en ficha técnica del fabricante	65 kW
Frecuencia de rotación a potencia máxima	4200 rpm
Torque máximo en ficha técnica del fabricante	191 N·m
Frecuencia de rotación a torque máximo	2400 rpm
Peso de la unidad motor-caja velocidad	< 210 kg (seco)
Norma de ensayo utilizada en pruebas de banco	SAE
Consumo específico de combustible a potencia máxima	400 g/kW.h (1)
Relaciones de transmisión de la caja de velocidad y	

puente motriz	
Relación de transmisión de 1ra marcha	1/4.452
Relación de transmisión de 2da marcha	1/2.619
Relación de transmisión de 3ra marcha	1/1.517
Relación de transmisión de 4ta marcha	1/1
Relación de transmisión de 5ta marcha	1/0.854
Relación de puente motriz	1/4.1
Peso	
Peso total del conjunto	20678 N
Tren de rodaje	
Número de ruedas	4
Diámetro de la llanta	24 pulg
Ancho del perfil del neumático	7 pulg

Nota 1: consumo específico actual que difiere de los 251 g/kW.h "de fábrica"

Aspectos que cambian con la remodelación:

Tabla 2. Características técnicas después de la remotorización. Fuente: elaboración propia.

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO REMODELADO	
Tipo de vehículo: seguirá siendo un Minibús.	
Marca y modelo: Toyota, HIACE a excepción del motor (HYUNDAI KIA D4BB) y caja. No se afectan las dimensiones, peso, neumáticos y los agregados originales no relacionados.	
Motor propuesto para la remotorización	
Motor	Diésel
Marca y modelo	HYUNDAI D4BB

Potencia máxima en ficha técnica del fabricante	63 kW
Frecuencia de rotación a potencia máxima	4000 rpm
Torque máximo en ficha técnica del fabricante	167 N·m
Frecuencia de rotación a torque máximo	2200 rpm
Peso del motor	< 210 kg (seco)
Norma de ensayo utilizada en pruebas de banco	SAE
Consumo específico de combustible a potencia máxima	288 g/kW.h
Relaciones de transmisión de la caja de velocidad	
Relación de transmisión de 1ra marcha	1/3.978
Relación de transmisión de 2da marcha	1/2.155
Relación de transmisión de 3ra marcha	1/1.414
Relación de transmisión de 4ta marcha	1/1
Relación de transmisión de 5ta marcha	1/0.813

Tabla 3. Variables y constantes de ingeniería empleados en el análisis. Fuente: elaboración propia.

Acrónimo	Descripción	Unidad
a	Coeficiente adimensional modelo de velocidad mínima	Adim.
Aid	Área que describe la potencia bajo la curva de fuerza tractiva ideal	W
AMe	Coeficiente de adaptabilidad del motor	%
Ap	Coeficiente de aprovechamiento de la potencia	Adim.
Areal	Área que describe la potencia efectiva debajo de las curvas reales de fuerza tractiva	W
b	Coeficiente adimensional modelo de velocidad mínima	Adim.
bo	Ancho del perfil del neumático	Pulgada
C1, C2, C3	Coeficientes empíricos que dependen del tipo de motor	Adim.
Dmáx	Factor dinámico máximo	Adim.
Do	Diámetro de la llanta	Pulgada
E	Índice de elasticidad total	Adim.
e _n	Índice de elasticidad de frecuencia de rotación	Adim.
e _M	Índice de elasticidad del motor	Adim.
f	Coeficiente de resistencia al rodamiento	Adim.

fmín	Coeficiente de resistencia al rodamiento en las mejores condiciones	Adim.
G	Peso total del conjunto	N
g	Aceleración de la gravedad	m/s ²
ge	Consumo específico de combustible	g/kWh
geN	Consumo específico de combustible a potencia máxima	g/kWh
ic	Relación de transmisión de la marcha "x"	Adim.
icms	Relación de transmisión de la marcha superior	Adim.
im	Relación de transmisión del puente motriz	Adim.
k	Cantidad de pares de engranes rectos transmitiendo potencia	Adim.
Kc	Coeficiente de corrección en condiciones de prueba	Adim.
KA	Coeficiente que considera la variación de ge en función del coeficiente de aprovechamiento de la potencia del motor	Adim.
KN	Coeficiente que considera la variación de ge en función de la frecuencia de rotación del cigüeñal	Adim.
I	Cantidad de pares de engranes cónicos transmitiendo potencia	Adim.
m	Barras de transmisión cardánica transmitiendo potencia	Adim.

Memáx	Torque máximo	N·m
Memáxfab	Torque máximo ofrecido por el fabricante	N·m
MeN	Torque correspondiente a la potencia máxima	N·m
Menec	Torque necesario	N·m
Mex	Torque a la frecuencia de <i>rotación del motor "x"</i>	N·m
n	Cojinetes en árboles que transmiten potencia	Adim.
nM	Frecuencia de rotación a torque máximo	rpm
nN	Frecuencia de rotación a potencia máxima	rpm
Nemáx	Potencia máxima	kW
Nenec	Potencia necesaria	kW
NeX	Potencia a la velocidad de <i>rotación del motor "x"</i>	kW
PtiD	Fuerza de la característica tractiva ideal	N
Ptv máxi	Fuerza tractiva a velocidad máxima de la marcha "i"	N
Ptv máxms	Fuerza tractiva a velocidad máxima en marcha superior	N
Ptmáx	Fuerza tractiva máxima	N
Ptnec	Fuerza tractiva necesaria	N
Ptx	Fuerza tractiva a la velocidad de rotación del motor "x"	N
Q	Indicador de consumo recorrido	l/100km

rd	Radio dinámico	m
SAE	Society of Automotive Engineering	
V	Velocidad	m/s
V _{mínX}	Velocidad mínima en la marcha "x"	m/s
V _{máx}	Velocidad máxima	m/s
W	Frecuencia de rotación	s-1
W _x	Frecuencia de rotación en el punto "x"	s-1
W _N	Frecuencia de rotación a potencia máxima	s-1
α _{máx}	Pendiente máxima a superar	°
η ₀	Eficiencia mecánica del sistema de transmisión	Adim.
η _{oid}	Eficiencia mecánica del sistema de transmisión vehículo ideal	Adim.
η _S	Eficiencia del patinaje	Adim.
λ	Coeficiente de deformación radial del neumático	Adim.
δ	Coeficiente de masas reducidas	Adim.
ρ	Densidad del combustible	kg/L
χ	Coeficiente mecánico del sistema de transmisión	Adim.

Nota 2: A no ser que se especifique lo contrario, f=0.012

Cálculos justificativos

Indicadores de elasticidad del motor

El índice de elasticidad de torque (e_M):

$$e_M = \frac{M_{e \text{ máx}}}{M_{eN}} \quad (1)$$

Siendo:

$$M_{eN} = \frac{N_{emáx}}{W_N} \quad (2)$$

A mayor e_M, mayor elasticidad del motor.

El índice de elasticidad de frecuencia de rotación:

$$e_n = \frac{W_N}{W_M} \quad (3)$$

El motor de mayor índice de elasticidad de frecuencia de rotación, posee un mayor rango de trabajo del motor y tendrá mejores cualidades para la tracción en igual número de marchas.

El índice de elasticidad total:

$$E = e_M \cdot e_n \quad (4)$$

Para fines de tracción, el mejor motor es el que posea los mayores índices de elasticidad total.

El coeficiente de adaptabilidad del motor:

$$A_{Me} = (e_M - 1) \cdot 100 \quad (5)$$

da la medida de la estabilidad de funcionamiento del motor ante los incrementos de carga.

Tabla 4. Índices de elasticidad de los motores. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Toyota HIACE 5L	Hyundai KIA D4BB		Diferencia
e_M	1.29	1.11		0.18
e_n	1.75	1.82		0.07
E	2.26	2.02		0.24
AMe	29.24	11.04		18.20

De la tabla anterior se deduce que el Toyota HIACE 5L es un motor más estable ante los incrementos de carga. No obstante, no significa que el Hyundai KIA D4BB sea una opción muy alejada.

Característica exterior de velocidad del motor.

$$N_{ex} = N_{emáx} \cdot \left[C_1 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right) + C_2 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right)^2 - C_3 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right)^3 \right] \quad (6)$$

$$M_{ex} = M_{eN} \left[C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right) - C_3 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right)^2 \right] \quad (7)$$

$$A_{Me} = \frac{(MeN_{emax}0)}{MeN \left(\frac{MeN_{emax}0}{MeN} (e_M - 1) \right)} \quad (8)$$

$$C_1 = 2 - \frac{25}{A_{Me}}; \quad C_2 = \frac{50}{A_{Me}} - 1; \quad C_3 = \frac{25}{A_{Me}} \quad (9)$$

Tabla 5. Parámetros para el cálculo de la característica exterior de velocidad. Fuente: elaboración propia.

Parámetros	Toyota HIACE 5L	Hyundai KIA D4BB
Wmáx, 1/s	439	418
Wmín, 1/s	70	70
Wmáx-Wmín, 1/s	369	348

C1	0,77	0,95
C2	1,82	0,60
C3	1,59	0,55

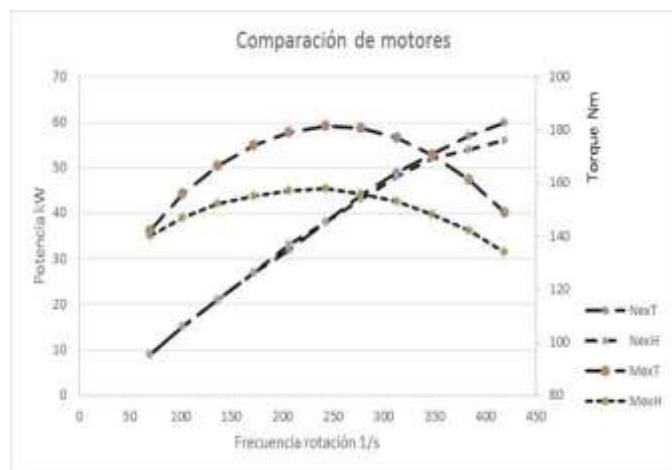


Figura 2. Comparación entre las curvas exteriores de velocidad de ambos motores. Fuente: elaboración propia.

En la figura 2 se observa que en el motor Toyota HIACE 5L, los valores de torque y potencia desarrollada, son superiores respecto al Hyundai KIA D4BB.

Característica tractiva del vehículo y los indicadores que miden la relación motor-sistema de transmisión

La característica tractiva de las máquinas automotrices muestra sus cualidades de movimiento y es la representación gráfica de la ecuación general del movimiento de estas máquinas. Comprende las curvas de fuerza tractiva contra velocidad en característica exterior de velocidad y la característica ideal de tracción.

Los gráficos que se muestran en lo adelante tanto para el vehículo original como para el remodelado, están realizados por cálculos en las condiciones más críticas, es decir, con máxima carga en el vehículo.

La fuerza tractiva en cada marcha:

$$P_{tx} = \frac{M_{ex} \cdot \eta_o \cdot \eta_s}{r_d \cdot i_{Ci}} \quad (10)$$

La eficiencia mecánica del sistema de transmisión en la marcha conectada:

$$\eta_o = \chi - \frac{(2 + 0.09 \cdot V) \cdot G \cdot r_d \cdot i_{ci} \cdot 10^{-3}}{M_e} \quad (11)$$

El coeficiente χ :

$$\chi = 0.98^k \cdot 0.97^l \cdot 0.995^m \cdot 0.997^n \quad (12)$$

La característica ideal de tracción:

$$P_{tid} = \frac{N_{e_{max}} \cdot \eta_{oid} \cdot 10^3}{V} \quad (13)$$

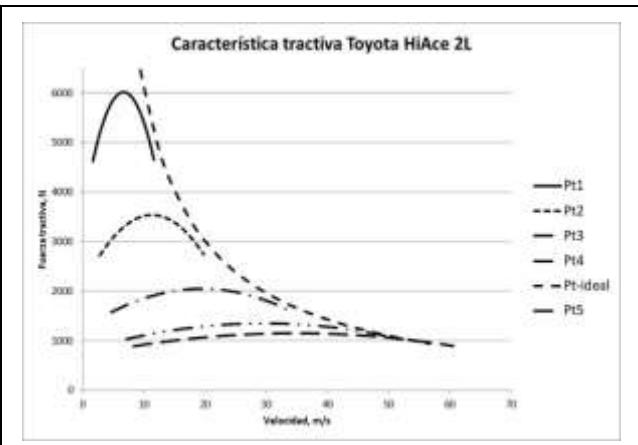


Figura 3a. Característica tractiva e ideal del vehículo original. Fuente: elaboración propia.

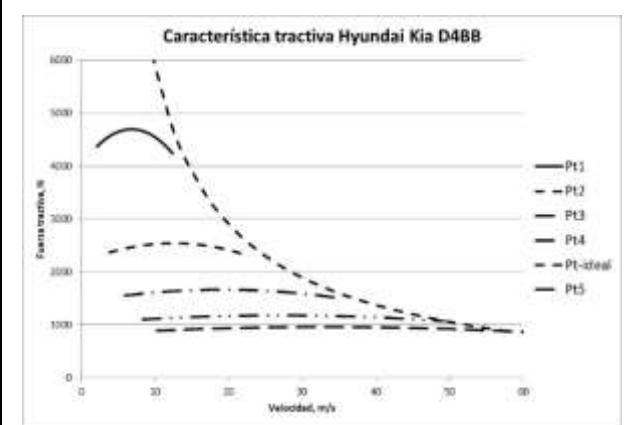


Figura 3b. Característica tractiva e ideal del vehículo re-motorizado. Fuente: elaboración propia.

La fuerza que podía ser desarrollada por el vehículo original es superior a la fuerza que puede desarrollarse por el remodelado, en todas las marchas, causando una gran diferencia en cuanto a primera marcha, esto es consecuencia de las diferencias de potencia y torque entre los dos motores.

Estimación del consumo de combustible en las marchas principales.

El consumo de combustible es un indicador asociado a los costos de operación de un parque de vehículos. El indicador de consumo recorrido (Q) se calcula por la expresión:

$$Q = \frac{g_e \cdot N_{ene}}{36 \cdot \rho_c \cdot V} \quad (14)$$

El consumo específico (g_e), según el método teórico más ampliamente aceptado, se determina para característica parcial de velocidad por:

$$g_e = g_{eN} \cdot K_A \cdot K_n \quad (15)$$

El coeficiente de aprovechamiento de la potencia (A_p) se determina para una marcha determinada como:

$$A_p = \frac{N_{ene}}{N_{ex}} = \frac{M_{ene}}{M_{ex}} = \frac{P_{tne}}{P_{tx}} \quad (16)$$

Los coeficientes K_A y K_n , pueden determinarse por las siguientes expresiones experimentales para motores Diésel:

$$K_A = 1.7977 \cdot A_p^3 + 1.8734 \cdot A_p^2 - 6.2614 \cdot A_p + 3.6189 \quad (17)$$

Para cualquier tipo de motor:

$$K_n = 0.2991 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right)^3 + 0.03 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right)^2 - 0.53 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right) + 1.2025 \quad (18)$$

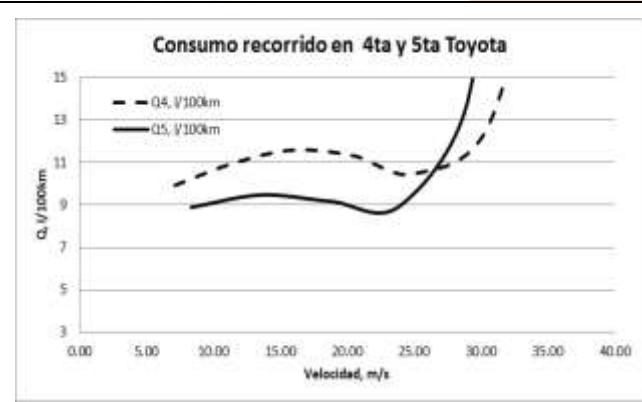


Figura 4a. Indicador de consumo recorrido en marcha directa y marcha superior, vehículo original. Fuente: elaboración propia.

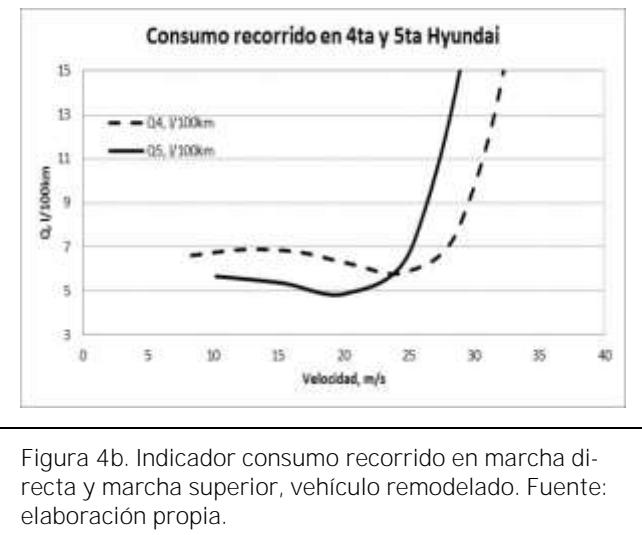


Figura 4b. Indicador consumo recorrido en marcha directa y marcha superior, vehículo remodelado. Fuente: elaboración propia.

Debido a que el índice actual del vehículo original se encuentra deteriorado por su antigüedad, posee un índice de consumo más alto que el que se espera para el vehículo remodelado.

En ninguna de las variantes, desde el punto de vista energético, no se recomienda al conductor mantener un régimen de circulación prolongado a velocidades superiores a los 90 km/h, pues se incrementa abruptamente el consumo de combustible.

Determinación de indicadores cinemáticos y dinámicos del vehículo

La valoración anterior, muestra las velocidades de movimiento que puede desarrollar el vehículo original y remodelado con adecuado coeficiente de aprovechamiento de la potencia y consumo de combustible.

Ahora, desde el punto de vista cinemático se calculan las velocidades máximas que pueden desarrollar, tanto el vehículo original como el modificado, con carga total en la marcha superior, en carretera en buenas condiciones y sin pendiente. Para ello se determina gráficamente el punto en que se iguala la fuerza tractiva generada por el vehículo con la resistencia sumaria en condiciones normales de circulación.

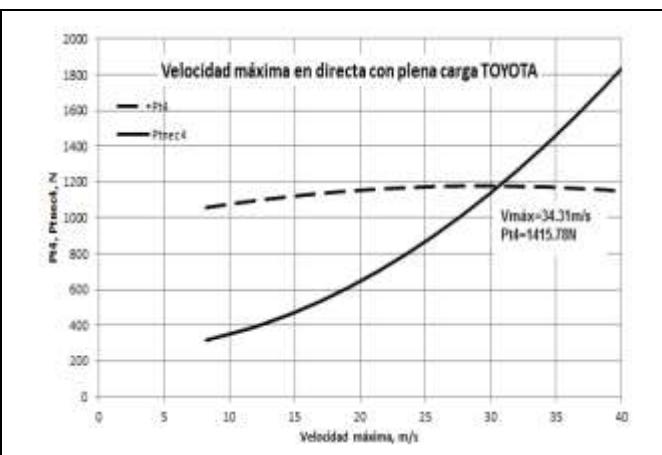


Figura 5a. Velocidad máxima en marcha directa a plena carga, vehículo original ("de fábrica"): 123km/h. Fuente: elaboración propia.

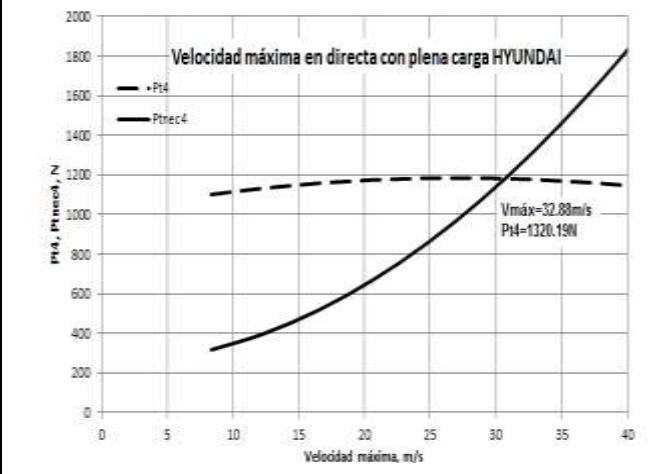


Figura 5b. Velocidad máxima en marcha directa a plena carga, vehículo remodelado: 118km/h. Fuente: elaboración propia.

En las figuras 5a y 5b, se puede apreciar que el vehículo original, cuando estaba en buen estado técnico, podía alcanzar hasta 5km/h más que el vehículo remodelado, incluso ejerciendo una fuerza ligeramente mayor.

Otros parámetros que se utilizan para valorar las cualidades dinámicas del vehículo:

La capacidad máxima de aceleración del vehículo cargado partiendo del reposo ($dV/dt_{máx}$).

Se determina a partir de la ecuación:

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{máx} = \frac{\frac{M_{emax} \cdot \eta_0}{r_d \cdot i_{cl}} - G \cdot f}{\frac{G}{g} \cdot \delta_I} \quad (19)$$

La pendiente máxima que puede ascender el vehículo partiendo del reposo ($\alpha_{máx}$).

Se determina aproximadamente a partir de la ecuación:

$$\arcsen(D_{máx} - f_{mín}) = \alpha_{máx} \quad (20)$$

La capacidad máxima de aceleración del vehículo cargado en marcha superior ($dV/dt)_{maxms}$.

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{maxms} = \frac{\frac{M_{emax} \cdot \eta_0}{r_d \cdot i_{cms}} - G \cdot f}{\frac{G}{g} \cdot \delta_{ms}} \quad (21)$$

Donde: i_{cms} - es la relación de transmisión total para marcha superior

δ_{ms} - es el coeficiente de masas reducidas para marcha superior

La capacidad de aceleración que puede desarrollar el vehículo a velocidad de 60 km/h en marcha superior ($dV/dt_{máx}60$ km/h).

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{máx} = \frac{\frac{M_{ex} \cdot \eta_0}{r_d \cdot i_{cms}} - G \cdot f}{\frac{G}{g} \cdot \delta_{ms}} \quad (22)$$

Donde: M_{ex} es el torque que se obtiene, para la frecuencia de rotación a que gira el motor a la velocidad de 60 km/h en la marcha superior.

A continuación, los resultados obtenidos:

Tabla 6. Indicadores de la dinámica. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Toyota HiAce 5L	Hyundai Kia D4BB
$dV/dt_{máx}$, m/s ²	1.27	1.09
$\alpha_{máx}$, grados	16.07	12.29
$dV/dt_{máxms}$, m/s ²	0.44	0.37
$dV/dt_{máx}60$ km/h, m/s ²	0.47	0.42

Es evidente, que el Toyota HiAce 5L ("vehículo de fábrica") acusa una ligera diferencia a su favor respecto al vehículo remodelado. Para condiciones de circulación normal en ciudades y autopistas, no limitan la circulación ni campo de empleo del vehículo remodelado, aunque los cambios realizados pueden ser perceptibles por un conductor experimentado que haya evaluado ambos casos.

O. (2017). Determinación del Coeficiente de Resistencia del Camino mediante un Método de Remolque. INGE CUC, 13(2), 35-41.

5. Rodríguez, M. A. (2011). Modelación Matemática de las características exteriores de velocidad de los motores de combustión interna diesel. Cienfuegos: Tesis en opción al grado académico de Máster en Matemática Aplicada. Universidad de Cienfuegos.

CONCLUSIONES

El trabajo realizado permitió que se arriben a las conclusiones siguientes:

1. La metodología de remotorización propuesta es aplicable a vehículos de motores de combustión interna convencionales y transmisión mecánica.
2. La fuerza desarrollada por el vehículo original es ligeramente superior a la fuerza que puede desarrollarse por el remodelado, en todas las marchas, causando la mayor diferencia en la primera marcha; esto es consecuencia de las diferencias de potencia y torque entre los dos motores.
3. En ninguna de las variantes, desde el punto de vista energético, se recomienda al conductor mantener un régimen de circulación prolongado a velocidades superiores a los 90 km/h, pues se incrementa abruptamente el consumo de combustible.
4. Condiciones de circulación normal, en ciudades y autopistas, no limitan la circulación ni el campo de empleo del vehículo remodelado, aunque los cambios realizados pueden ser perceptibles por un conductor experimentado.
5. La remodelación con el motor propuesto es factible técnicamente, no representando un problema para la circulación vehicular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fuentes Vega, J. R., Millo Carmenate, V., Cogollos Martínez, J. B., Pérez Chaviano, A., & Fundora Beltrán, P. (2021). El sistema de indicadores para evaluar el desempeño del transporte de cargas. Revista Universidad y Sociedad, 13(3), 342-353.
2. Millo Carmenate, V., Fuentes Vega, J. R., Pérez Gálvez, R., & Angulo Bennett, E. (2019). Gestión de los indicadores del grado de disposición y de consumo de combustible en una flota de ómnibus YUTONG ZK-6120. Revista Universidad y Sociedad, 11(3), 315-321.
3. Pérez Gálvez, R. (2007). Modelación de ciclos de viaje e indicadores dinámicos y de consumo para vehículos pesados. Cienfuegos: Tesis en opción al título de Dr. en Ciencias Técnicas (Ph.D.), Universidad de Cienfuegos,.
4. Pérez Gálvez, R., Fuentes Vega, J. R., Cogollos Martínez, J. B., Millo Carmenate, V., & Botana Beltrán, L.