

**TÍTULO:** La Remotorización diesel en los camiones Zil 130: un análisis técnico de factibilidad.

**TITLE:** The Diesel Re-motorization of Zil 130 Trucks: a Technical Analysis on Feasibility.

**AUTORES:**

Dr. Ing. Esteban López Milán. Profesor Auxiliar (1)

Ing. Elizabeth Méndez Calzadilla (2)

**PAÍS:** Cuba

**RESUMEN:**

Se plantea que la remotorización diesel, es el cambio del motor de gasolina que presentan los vehículos automotores por otro que funciona con diesel. Los criterios para realizar estos cambios, se basan en lograr un ahorro sustancial de capital, aún cuando los parámetros de velocidades de trabajo y potencia desarrollada por los motores a intercambiar sean parecidas; frecuentemente estos motores diesel rara vez llegan a cumplir su ciclo de vida útil. Se realizó un análisis técnico de las modificaciones y se estudió al camión ZIL 130, por su amplio uso en las empresas cubanas, fundamentalmente en la industria azucarera.

**PALABRAS CLAVES:** REMOTORIZACIÓN DIESEL, PASAPORTE DINÁMICO, CARACTERÍSTICA TRACTIVA.

**ABSTRACT:**

Diesel re-motorization is the change of a vehicle's gasoline engine for another that works with diesel. The approaches to carry out these changes are based on achieving a substantial saving of capital while keeping similar speeds and power, taking into account, however, that diesel engines rarely complete their whole life cycle. This work is about a technical analysis on the modifications and the study carried out on the ZIL 130 truck, which is widely used in Cuban companies, fundamentally in the sugar industry.

**KEY WORDS:** DIESEL RE-MOTORIZATION, DYNAMIC PASSPORT, FEASIBILITY.

**INTRODUCCIÓN**

Con la denominación de transporte automotor se agrupa al más universal modo de transportación de mercancías y pasajeros del mundo. La generalizada difusión de esta modalidad de transporte desde los inicios del pasado siglo, ha sido una condición indispensable en la vida moderna.

En Cuba, el transporte automotor constituye un eslabón imprescindible para la economía interna, de ahí que el país se trazara importantes estrategias en este sector. En los primeros años de la Revolución cubana, se adquirieron gran cantidad de vehículos en su mayoría provenientes del extinto campo socialista, y mayormente de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. De acuerdo a las facilidades que en su momento existieron, los vehículos se llevaban a

reparación media o general cuando era preciso, o se sustituían por vehículos nuevos.

A partir de la década del 90` el país comenzó a transitar por una profunda crisis económica y aparejado a ello, se han realizado muchas innovaciones en los medios de transporte; entre éstas, se destacan el intercambio de motor y demás agregados del sistema de transmisión de fuerzas.

El intercambio de un motor de gasolina por uno diesel, frecuentemente se realiza por los siguientes criterios:

- similitud entre la potencia y el rango de velocidades que desarrolla el motor a cambiar,
- el motor diesel proporciona un mejor rendimiento de litros consumidos por cada 100 kilómetros de recorrido,
- el combustible diesel tiene un menor precio de adquisición respecto a la gasolina.

La sustitución del motor original del equipo (en lo fundamental de gasolina) por un motor diesel, ha contribuido poner en alta técnica los vehículos, pero también ha traído aparejado problemas relacionados con la disminución de la vida útil de este agregado [López, 2006]. Esto se puede apreciar en la industria azucarera, que emplea un número relativamente alto de los medios de transporte automotor, y donde las condiciones de explotación de los vehículos son severas.

El aspecto de la economía del combustible es muy importante, pero cada sustitución ya sea del motor o algún otro agregado del sistema de transmisión de fuerzas del automóvil, provoca una nueva respuesta cinemática y dinámica ante iguales condiciones de explotación.

Para ejemplificar y llegar a un razonamiento técnico del porqué los motores diesel frecuentemente no cumplen con las expectativas de su vida útil, se estudió el ZIL 130, un vehículo muy difundido en Cuba que se le ha remotorizado con más modelos de motores diesel.

## **MATERIALES Y METODOS.**

### **PASAPORTE DINÁMICO. CARACTERÍSTICA TRACTIVA DEL ZIL 130.**

El pasaporte dinámico o característica tractiva, es la representación gráfica de la ecuación general del movimiento del automóvil en la que se representan las cualidades de movimiento de la máquina. Esta característica, en el estilo establecido por Szczepaniak (1994), se presenta en forma de una gráfica en la que se aprecian las curvas  $P_n(V)$ , donde  $P_n$  es la fuerza tractiva y  $V$  es la velocidad de movimiento del automóvil; conjuntamente a estas aparecen líneas rectas que representan la resistencia al movimiento del automóvil para diferentes estados del camino por los que transita la máquina. Generalmente, los caminos se caracterizan por el coeficiente ( $f$ ) de resistencia a la rodadura.

En la parte inferior de la gráfica se establece el vínculo que existe entre las curvas  $P_n(V)$ , la relación de transmisión conectada en la caja de velocidades y la velocidad de rotación del motor.

El trazado de las curvas  $P_n(V)$  se consigue a través de ecuaciones paramétricas, mediante las cuales se consiguen parear valores de fuerza tractiva y velocidad:

$$\text{Fuerza tractiva: } \Phi = P_n(M_n(N_e, n_x, n_n), i_s, i_m, \eta_p, \eta_s, r_d, W_p)$$

$$\text{Velocidad: } \Psi = V(n_x, i_s, i_m, r_d)$$

Donde:

$P_n$ : Fuerza tractiva.

$V$ : velocidad de traslación del automóvil.

$M_n$ : torque producido por el motor a la velocidad  $n_x$ .

$N_e$ : potencia efectiva del motor.

$n_x$ : algún valor de velocidad de rotación del motor entre los valores máximo y mínimo.

$i_s$ : relación de transmisión conectada en la caja de velocidades.

$i_m$ : relación de transmisión principal.

$\eta_p$ : eficiencia del sistema de transmisión de fuerzas.

$\eta_s$ : eficiencia en el patinaje.

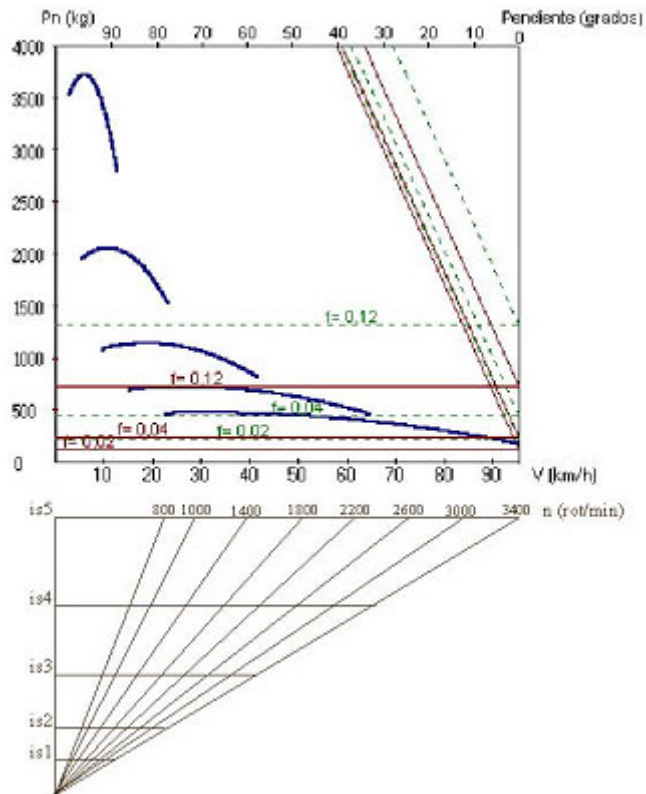
$r_d$ : radio dinámico de las ruedas del automóvil.

$W_p$ : fuerza de resistencia del viento.

La fuerza tractiva que se representa en la gráfica, es la que resulta una vez deducida la fuerza de resistencia del viento, de la fuerza que efectivamente llega a las ruedas motrices. Depende, entre otras cuestiones, de las características técnicas del motor de la máquina, de la eficiencia de la transmisión y de las cualidades del sistema de transmisión de fuerzas del automóvil.

La característica ideal del motor debido a las exigencias tractivas, sería una entrega de potencia constante en todo el intervalo de velocidad de su funcionamiento, así se garantizaría la entrega de una potencia máxima constante en las ruedas del automóvil independientemente de la velocidad de traslación; en este caso la curva  $P_n(V)$  tendría la forma de una hipérbola:  $Y(X) = a/X - b$

La fuerza tractiva actúa en las ruedas motrices y es, la componente de la reacción del camino (paralela al mismo) que provoca el movimiento de avance del automóvil. Esta fuerza.



**Figura 1.** Característica tractiva del ZIL 130 obtenida por el sistema Tractiva Vers. 2.1

En la figura 1 se presenta la característica tractiva del ZIL 130 equipado con su motor de gasolina. Para el trazado de la gráfica se utilizó el sistema Tractiva Vers.2.1 [López y Sanfort, 2001] y la metodología para la elaboración de la característica tractiva de las máquina automotrices, que no presentan en su sistema de transmisión de fuerzas algún elemento que trabaje con patinaje continuo [Szczepaniak y Aragón, 1994] [López, 2006] [Betancourt, 2004].

Para la confección de la característica tractiva se parte de los siguientes datos:

De la máquina:

- Peso total del vehículo cargado y equipado con un remolque: 11 000 kg
- Vía: 1 800 mm
- Alto: 2 400 mm
- Coeficiente aerodinámico: 1,1
- Radio dinámico: 0,47 m
- Eficiencia de la transmisión: 0.85
- Caja de velocidades:  $i_{s1} = 1:7,44$ ;  $i_{s2} = 1:4,10$ ;  $i_{s3} = 1:2,29$ ;  $i_{s4} = 1:1,47$ ;  $i_{s5} = 1:1$
- Relación de transmisión principal:  $i_m = 1:6,32$

Del motor:

- Potencia efectiva: 115 kW.
- Velocidad mínima: 800 min-1.

- Velocidad máxima: 3 400 min<sup>-1</sup>.
- Velocidad nominal: 3 200 min<sup>-1</sup>.

## RESULTADOS DEL TRABAJO

### ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA REMOTORIZACIÓN DIESEL EN EL ZIL 130.

Los motores diesel, en especial los lentos, presentan un índice de elasticidad de torque menor que los motores de gasolina, lo que se manifiesta en un aumento de las áreas de ausencia de potencia para una misma configuración del sistema de transmisión de fuerzas. Las áreas de ausencia de potencia se definen en el gráfico, como valores de fuerza tractiva que no se pueden lograr en el automóvil a determinada velocidad, aún cuando estos valores se encuentran por debajo de la hipérbola de potencia máxima.

Para determinar las áreas de ausencia de potencia tradicionalmente se emplea el método gráfico: se cuadrícula toda el área de trazado y luego se cuentan las cuadrículas que están por encima de las curvas  $P_n(V)$  y bajo la curva que determina la hipérbola de potencia máxima  $P_{nkmax}(V)$ . El método gráfico se torna más laborioso en la misma medida que se pretende alcanzar mayor exactitud con él, más exacto aún resultaría el poder calcular la integral definida de las funciones de cada una de las curvas de fuerza tractiva, y la de la hipérbola de potencia máxima, con la dificultad de que no se puede establecer una ley general para trazar las curvas  $P_n(V)$  y la  $P_{nkmax}(V)$

Por cuanto el sistema Tractiva Vers. 2.1 no es capaz de calcular las áreas de ausencia de potencia, se diseñó una plantilla en Microsoft Excel 2007 a la que se le suministran los datos de la máquina y el motor, necesarios para que la plantilla calcule y trace las curvas que se generan de los pares de coordenadas  $(F, Y)$ , es decir:  $(P_n, V)$ , para cada una de las marchas.

En la trayectoria que describe la curva de potencia efectiva de los motores de combustión interna, se aprecia que la potencia máxima se alcanza para una determinada velocidad de giro del árbol cigüeñal, esto hace que el sistema de transmisión de fuerzas de la máquina entregue la potencia máxima a las ruedas, en cada una de las relaciones de transmisión que se conectan en la caja de velocidades, a una única velocidad de giro del motor.

La unión de los puntos coordenados  $(P_n, V)$  que cumplen con la condición de máxima entrega de potencia en las ruedas determinan el trazado de la hipérbola de potencia máxima. Para facilitar el trazado de la hipérbola de potencia máxima, se elaboró el software HIPERBOLA Vers. 1.1 [López, 2005], que permite de forma rápida la obtención de los pares de máxima potencia  $(P_n, V)$  en las ruedas, para cada una de las relaciones de transmisión conectadas en la caja de velocidades de la máquina.

Con el objetivo de lograr el trazado más exacto de la hipérbola de potencia máxima, el sistema HIPERBOLA Vers. 1.1 permite introducir varias relaciones transmisión ficticias y obtener así otros pares adicionales  $(P_n, V)$ , estos datos

posteriormente se suministran a la plantilla de Microsoft Excel que se encarga del trazado de la hipérbola.

En la tabla 1 se muestran los datos de los motores analizados, los datos de la máquina son iguales para todos los casos. La figura 2 muestra las gráficas de las características tractivas obtenidas para cada tipo de motor en el ZIL 130.

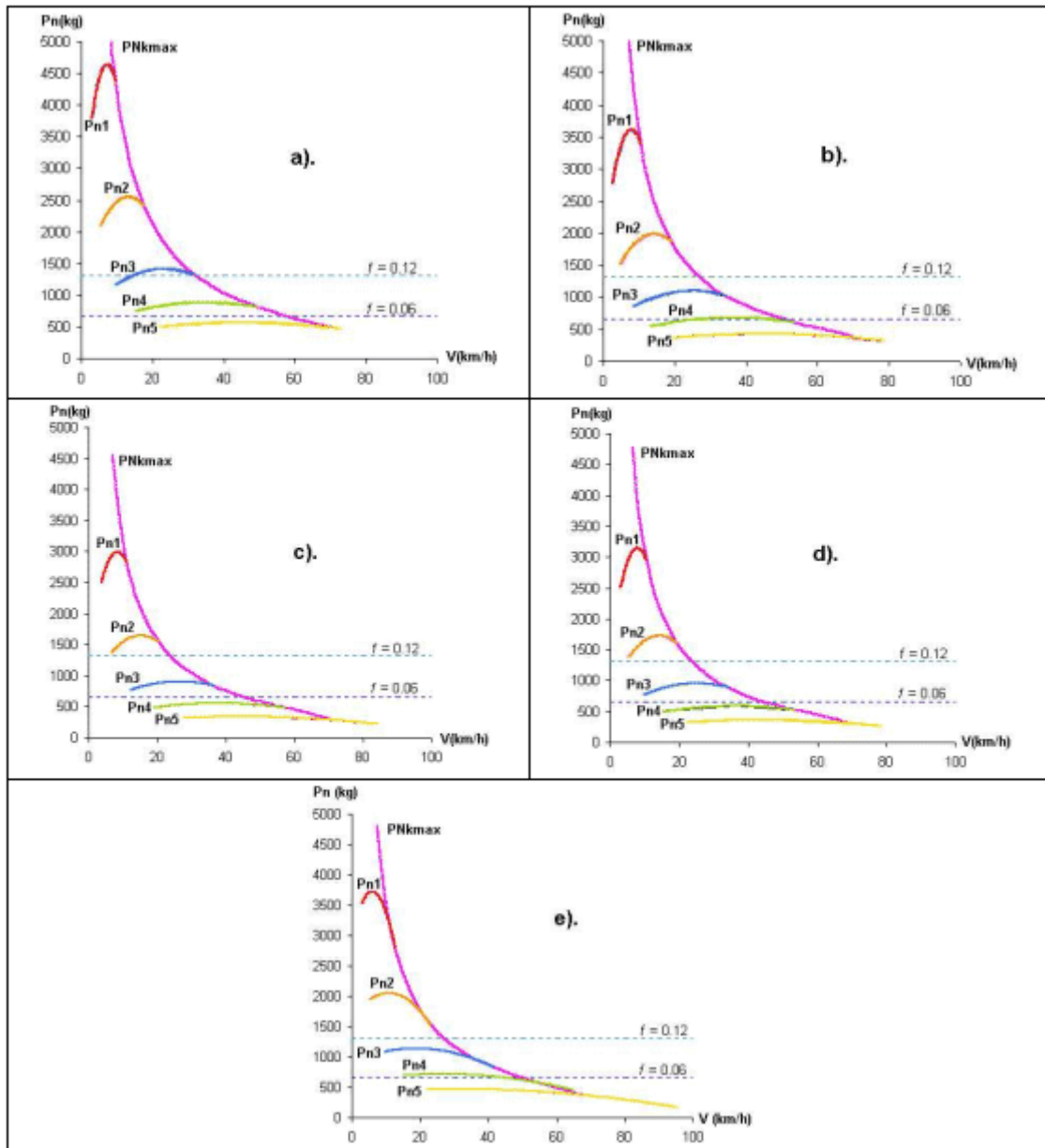
Parámetro	Modelo del motor diesel			
	FIAT IVECO c05	Mercedes Benz OM 366A	MWM D229-6	ZIL 0555
Potencia Efectiva (kW)	102	137	100	115
Velocidad mínima (rot/min)	1200	800	800	700
Velocidad máxima (rot/min)	3000	2600	2800	2800

**Tabla 1.** Datos de los motores diesel con los que se han remotorizado los vehículos ZIL 130.

En la figura 2, las curvas continuas representan cada una de las marchas y la hipérbola de potencia máxima (PN<sub>kmax</sub>), se observan además líneas discontinuas que caracterizan la fuerza de resistencia del camino al vehículo completamente cargado, para un suelo agrícola húmedo ( $f = 0,12$ ) y un camino de tierra seco ( $f = 0,06$ ) [Betancourt, 2004].

Del análisis de los resultados obtenidos y trazados en cada una de las características tractivas, se puede apreciar que el camión con motor de gasolina puede alcanzar mayores velocidades de desplazamiento, y que no puede operar con la cuarta o quinta marcha conectada en la caja de velocidades a plena capacidad en un camino de tierra, porque la pendiente media del camino no es nula y que los caminos cañeros rara vez se encuentran en buen estado técnico.

Los conductores al estar vinculados con la producción que realizan, frecuentemente tratan de transitar a la mayor velocidad posible, lo que hace que el motor trabaje al límite de su velocidad máxima. Producto a la menor elasticidad de torque de los motores diesel y al relieve de los caminos cañeros, se precisa realizar frecuentes cambios de marchas en la caja de velocidades, esto no solo trae sobrecargas en el sistema de transmisión de fuerzas, sino que también sobrecarga al motor del automóvil.



**Figura 2.** Característica tractiva del ZIL 130 obtenidas a partir de la plantilla de Microsoft Excel: a). Con motor Mercedes Benz OM 366A; b). Con motor ZIL 0555; c). Con motor FIAT IVECO 8061 c05; d). Con motor MWM D229-6; e). Con motor de gasolina ZIL 130.

El ZIL 130 equipado con el motor Mercedes Benz OM 366A, que es el más potente entre todos los motores, es precisamente el que causa un mayor índice de fallos en el sistema de transmisión de fuerzas del automóvil [Betancourt, 2004], la causa fundamental es porque precisamente al ser más potente provoca sobrecargas dinámicas más fuertes en este sistema que los restantes motores.

Una de las mayores ventajas de haber utilizado el Microsoft Excel para elaborar la característica tractiva, está en la posibilidad de realizar el análisis de tendencia para cada una de las marchas y la hipérbola de potencia máxima, obteniendo la función de ajuste de la curva y su desviación media cuadrática.

De esta manera a través de un cálculo de integración definida de cada una de estas ecuaciones, se pueden hallar los valores de las áreas de ausencia de potencia.

Motor	Marcha	Ecuación	R <sup>2</sup>
ZIL 130	$Pn1$	$= -20.513V^2 + 247.1V + 2979.6$	1.0000
	$Pn2$	$= -3.4515V^2 + 75.039V + 1642$	1.0000
	$Pn3$	$= -0.0002V^4 + 0.0173V^3 - 1.2362V^2 + 32.227V + 874.35$	0.9997
	$Pn4$	$= -0.1803V^2 + 9.6461V + 588.72$	1.0000
	$Pn5$	$= -0.072V^2 + 4.4639V + 400.49$	1.0000
	$PNkma_x$	$= 48320V^{-1.1102}$	0.9926
ZIL 0555	$Pn1$	$= -30.61V^2 + 484.1V + 1702.7$	1.0000
	$Pn2$	$= -5.1411V^2 + 147.01V + 938.29$	1.0000
	$Pn3$	$= -0.9141V^2 + 45.863V + 524.07$	1.0000
	$Pn4$	$= -0.2581V^2 + 18.899V + 336.41$	1.0000
	$Pn5$	$= -0.0965V^2 + 8.7457V + 228.85$	1.0000
	$PNkma_x$	$= 45712V^{-1.0931}$	0.9943
FIAT IVECO c05	$Pn1$	$= -22.08V^2 + 374.04V + 1409.5$	1.0000
	$Pn2$	$= -3.7136V^2 + 113.59V + 776.74$	1.0000
	$Pn3$	$= -0.6654V^2 + 35.436V + 433.84$	1.0000
	$Pn4$	$= -0.1923V^2 + 14.602V + 278.49$	1.0000
	$Pn5$	$= -0.0758V^2 + 6.7572V + 189.45$	1.0000
	$PNkma_x$	$= 44697V^{-1.1278}$	0.9932
Mercedes Benz OM-366A	$Pn1$	$= -45.533V^2 + 668.85V + 2184.4$	1.0000
	$Pn2$	$= -7.6386V^2 + 203.12V + 1203.8$	1.0000
	$Pn3$	$= -7 \cdot 10^{-16}V^3 - 1.3493V^2 + 63.366V + 672.35$	1.0000
	$Pn4$	$= -0.3732V^2 + 26.111V + 431.6$	1.0000
	$Pn5$	$= -0.1327V^2 + 12.083V + 293.6$	1.0000
	$PNkma_x$	$= 50061V^{-1.0622}$	0.9975
MWM D229-6	$Pn1$	$= -26.62V^2 + 420.96V + 1480.6$	1.0000
	$Pn2$	$= -4.4734V^2 + 127.84V + 815.9$	1.0000
	$Pn3$	$= 0.0005V^4 - 0.0397V^3 + 0.3354V^2 + 26.267V + 513.49$	0.9997
	$Pn4$	$= -0.2274V^2 + 16.434V + 292.53$	1.0000
	$Pn5$	$= -0.0868V^2 + 7.6049V + 199$	1.0000
	$PNkma_x$	$= 41176V^{-1.1068}$	0.9926

**Tabla 2.** Fórmulas obtenidas por la plantilla del Excel para cada una de las marchas y la hipérbola de potencia máxima.



Para calcular las áreas de ausencia de potencia se toma la siguiente fórmula:

$$A = \int_{v_1}^{v_6} P_{Nkmax}(V) \cdot dV - \left[ \int_{v_1}^{v_2} P_{n1}(V) \cdot dV + \int_{v_2}^{v_3} P_{n2}(V) \cdot dV + \int_{v_3}^{v_4} P_{n3}(V) \cdot dV + \int_{v_4}^{v_5} P_{n4}(V) \cdot dV + \int_{v_5}^{v_6} P_{n5}(V) \cdot dV \right]$$

En la tabla 2 se muestran las fórmulas que se obtienen a partir del análisis de tendencia para cada una de las variantes de motores, marchas conectadas en la caja de velocidades y las hipérbolas ( $P_{Nkmax}$ ) de potencia máxima.

Los límites de integración que representan la velocidad en km/h, se obtienen de la plantilla del Excel. El valor  $V_1$  representa la velocidad mínima de traslación del automóvil, por su parte  $V_2$ ,  $V_3$ ,  $V_4$  y  $V_5$  son las velocidades máximas que se pueden alcanzar en la primera, segunda, tercera y cuarta marchas respectivamente; el valor  $V_6$  representa la máxima velocidad que puede alcanzar el automóvil y se obtiene en la quinta marcha. Los valores de estas velocidades se muestran en la tabla 3, y en la tabla 4 los resultados obtenidos en cálculo de las áreas de ausencia de potencia.

Motor	V1	V2	V3	V4	V5	V6
ZIL 130	3,01	12,81	23,25	41,63	64,85	95,32
ZIL 0555	2,64	10,55	19,15	34,28	53,40	78,50
FIAT IVECO c05	4,52	11,30	20,51	36,73	57,22	84,11
Mercedes Benz OM-366A	3,01	9,80	17,78	31,83	49,59	72,89
MWM D229-6	3,01	10,55	19,15	34,28	53,40	78,50

**Tabla 3.** Valores de los límites de integración obtenidos por la plantilla de Microsoft Excel para cada variante de remotorización.

Tipo de motor	Area bajo $P_{Nkmax}$	Area de integración bajo las curvas						Area de ausencia de potencia	
		$P_{n1}$	$P_{n2}$	$P_{n3}$	$P_{n4}$	$P_{n5}$	Total		
ZIL 130	122 973	34 168	19 226	17 732	13 540	8 856	93 522	29 452	23,95 %
ZIL 0555	121 478	26 929	16 821	16 332	12 639	9 559	82 281	39 198	32,27 %
FIAT IVECO 8061C05	89 921	19 676	14 899	14 410	10 928	7 633	67 547	22 374	24,88 %
MWM D 229-6	100 802	22 506	14 622	14 210	10 880	7 993	70 212	30 590	30,35 %
Mercedes Benz OM-366A	135 139	30 049	20 043	19 554	15 385	12 346	97 378	37 762	27,94 %

**Tabla 4.** Resultados del cálculo de las áreas de ausencia de potencia.

De todos los motores diesel analizados, es el motor FIAT IVECO 8061C05 el que presenta un comportamiento similar al motor de gasolina ZIL 130, en lo que respecta a la generación de áreas de ausencia de potencia; los tres restantes motores diesel provocan valores marcadamente superiores en este aspecto.

Aún cuando no se debe descartar la alta fiabilidad y durabilidad que tienen los motores analizados, es precisamente este motor FIAT IVECO 8061 c05 el que

mayor vida útil ha alcanzado durante su explotación [Betancourt, 2004], lo que ratifica la afirmación de que una disminución de las áreas de ausencia de potencia en la característica tractiva, contribuye a mejorar la conducción del vehículo, y a prevenir roturas en el conjunto motor - sistema de transmisión de fuerzas.

## CONCLUSIONES

La remotorización diesel llevada a cabo en Cuba, con cierta frecuencia adolece de un cálculo previo para determinar el comportamiento dinámico y cinemático del automóvil; esto en primer lugar es provocado por la baja existencia de motores, la poca oferta de motores de recambio o los precios a los que estos se comercializan en el mercado internacional.

Es sustancial el ahorro de recursos financieros que se obtiene al sustituir el motor de gasolina por un motor diesel en cuanto a combustible se refiere, pero por otro lado estos motores producto a que causan un aumento de las áreas de ausencia de potencia en la característica tractiva, muy pocas veces logran cumplir con las expectativas de su vida útil.

La remotorización diesel no puede ser vista como el simple cambio de un motor de gasolina por otro diesel, sino que debe buscarse una solución de compromiso en el conjunto motor – sistema de transmisión de fuerzas, para aprovechar al máximo y con menores perjuicios esta modificación tecnológica.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Betancourt, Manuel. La Remotorización diesel en la Organización Básica Eléctrica. Holguín; Universidad “Oscar Lucero Moya”, 2004. 210 h. (Tesis de Maestría)
2. López M., Esteban. Contribuciones al perfeccionamiento del sistema integral de transporte cañero. Holguín; Universidad “Oscar Lucero Moya”, 2006. 240 h. (Tesis doctoral)
3. López, Esteban; Sanfort, Julio. Tractiva Vers. 2.1: Registro de obras protegida: 07678-7678. La Habana, 2001.
4. López, Esteban. Hipérbola 1.1. Holguín; Universidad “Oscar Lucero Moya”, 2005. 20 h.
5. Szczepaniak, César. Teoría del Automóvil / César Szczepaniak, Rigoberto Aragón. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1994. 289 p.

## **DATOS DE LOS AUTORES**

### **Nombres:**

Dr. Ing. Esteban López Milán. Profesor Auxiliar (1)  
Ing. Elizabeth Méndez Calzadilla (2)

### **Correo:**

- [elopez@facing.uho.edu.cu](mailto:elopez@facing.uho.edu.cu)

### **Centro de trabajo:**

- (1) Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería.  
Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya". Carretera Vía  
Guardalavaca, Gaveta Postal 57, 80100. Holguín. Cuba. Tel. (+53) 24  
48 26 75
- (2) Empresa de Proyectos e Investigaciones de las FAR, Holguín, Cuba.