

Evaluación de la eficiencia energética de vehículos pesados en el ciclo de movimiento básico modificado

Ramón Pérez-Gálvez, José R. Fuentes-Vega, Juan B. Cogollos-Martínez, Antonio Toledo-Dorrego

Recibido el 17 de diciembre de 2009; aceptado el 25 de marzo de 2010

Resumen

En este trabajo, se presenta la reformulación de un ciclo teórico que consta de los elementos básicos de un ciclo de viaje real con condiciones prefijadas de movimiento y operación. En la modificación se tomaron en cuenta los siguientes elementos: frecuencia de rotación mínima en movimiento estable; eficiencia de la transmisión variable con la velocidad, la carga y la marcha conectada; un nuevo criterio de frecuencia de rotación del motor para el cambio de marchas; el frenado con el motor embragado y; nuevas expresiones de cuantificación del consumo de combustible. Obteniéndose nuevos modelos matemáticos para la determinación de los indicadores del consumo de combustible de vehículos pesados de transmisión mecánica. Se presenta además, un indicador "Coeficiente de Efectividad del Trabajo del Automóvil" (CETA) que describe la eficiencia energética durante el periodo de impulso, expresada a través del grado de aprovechamiento de la energía del automóvil para llevar hasta determinada velocidad la masa de la carga útil.

Palabras claves: ciclo de viaje, consumo de combustible, evaluación vehicular, modelos matemáticos.

Evaluation of the heavy duty trucks energy efficiency in the modified drive cycle.

Abstract

In this paper, the new formulation of a theoretical drive cycle is presented. It is integrated by stages of a real drive cycle with the prefix settings of movement and operation. In the cycle modification the following approaches are taken account: minimal rotation frequency in stable movement; the transmission efficiency is variable with the speed, the weight, and the gear ratio; a new rotation frequency for gear shifting; a motor braking stage and; a group of new equations for the fuel consumption. New mathematical models were obtained for the fuel consumption indicators of the heavy duty trucks with manual transmission. Furthermore, the indicator Automobile Work Effectiveness Coefficient is presented. It describes the energy efficiency in the acceleration stage involving the fuel energy during the impulsion of payload until it reaches a certain speed.

Key words: drive cycle, fuel consumption, mathematical models, vehicle evaluation.

1. Introducción.

El consumo de combustible es un indicador de extraordinaria importancia para caracterizar un vehículo, por su trascendencia en sus costos de operación y su incidencia en la emisión de contaminantes al medio.

La dificultad de evaluar el consumo, a partir de los valores suministrados por el fabricante, radica en que [1]: a).-Son valores puntuales, es decir, determinados para un valor de velocidad promedio; b).-Las velocidades para las cuales se evalúa el consumo no son iguales, aún para un mismo fabricante; c).-Las normas utilizadas en la evaluación experimental son diferentes, en función del país de procedencia del vehículo y se actualizan con determinada frecuencia. Esto reafirmó la necesidad de pensar en un ciclo de movimiento teórico, que partiendo de los datos suministrados por el fabricante, pudiera permitir la evaluación integral de diferentes vehículos, independientemente de su procedencia y tipo, auxiliado por un conjunto de indicadores complementarios, a los que ofrece propiamente el ciclo.

Desde el punto de vista teórico, uno de los problemas más complejos en la determinación del consumo de combustible, es la gran cantidad de factores que inciden en su magnitud. Por tal razón, la modelación se hace mucho más compleja, cuando pretendemos acercarnos al ciclo de movimiento teórico a las condiciones reales de movimiento y operación del vehículo.

Los ciclos de movimiento se han abordado por diferentes investigadores [2] [3] [4]. En el 2003 se defendió un trabajo [5] que entre otros aspectos, aportó la definición de un ciclo teórico de movimiento, que se denominó Ciclo Básico. No obstante, se hizo necesario introducir un grupo de modificaciones [6] a la propuesta inicial, para acercarnos más al ciclo a las condiciones reales de movimiento, y que han dado lugar a nuevos modelos matemáticos para la descripción del mismo. Este tipo de ciclo, tiene como ventaja fundamental: permitir evaluar un vehículo o varios vehículos en forma comparativa, en determinadas condiciones predeterminadas, sin necesidad de contar con la base de datos de las resistencias

existentes en una vía real, como suele ser necesario en los modelos de ciclos específicos. Una parte de nuestro trabajo se centrará en como obtener los indicadores de consumo, los espacios recorridos, el tiempo de movimiento en las diferentes etapas del ciclo, la aceleración y el Coeficiente de Efectividad del Trabajo del Automóvil en la fase de impulso, y la dependencia gráfica de este último, con respecto a parámetros, seleccionados por técnicas estadísticas que muestran su comportamiento en forma de ley, de modo que pueda ser valorado racionalmente cada vehículo concreto.

2. Métodos, Descripción y Resultados.

a- El Ciclo de Movimiento Básico Clásico y sus modificaciones.

El Ciclo de Movimiento Básico, en su variante inicial [5], se caracterizaba por cuatro etapas bien definidas: a).-Impulso, con máximo suministro de combustible, desde el reposo hasta una velocidad estable prefijada, con cambios de marcha hasta la superior; b).-Movimiento a velocidad estable en un recorrido de 1000m; c).-Proceso de frenado con deceleración intensa hasta velocidad cero; d).-Trabajo en ralentí, en una porción del tiempo total del ciclo. Las modificaciones que fueron introducidas en el Ciclo Básico son las siguientes: 1).-Se consideró como inicio del ciclo, el momento en que el vehículo alcanza la velocidad mínima estable en primera marcha, es decir, fue suprimida la primera etapa de funcionamiento inestable, que va desde velocidad cero hasta la velocidad mínima estable; 2).-Se tomó otro criterio de cambio de marcha, buscando mejores indicadores en el proceso de impulso; 3).-En cuanto al método de determinación del recorrido durante el cambio de marcha, se empleó otro, basado en el análisis dinámico, y que considera el efecto de las pérdidas hidráulicas en la eficiencia; 4).-El proceso de frenado se desarrolló en dos etapas: frenado con el motor hasta una determinada velocidad y frenado intenso con el motor desembragado; 5).- Se introdujo el concepto de eficiencia de la transmisión variable con la velocidad, la carga y con la relación de transmisión conectada en el período de impulso y

a velocidad estable; 6).-Se introdujo el concepto de eficiencia de la transmisión invertida durante el proceso de frenado; 7).-Se emplearon otros métodos para el cálculo del consumo de combustible en todas las etapas del ciclo, ofreciéndose su valor en dm^3 , o sea no se empleó el método gráfico analítico [5] que lo daba en $\text{l}/100\text{km}$ para cada valor puntual de velocidad, que

es como se hacia anteriormente; 8).-Se propuso, sobre la base del Ciclo Básico, un nuevo indicador para valorar la efectividad del uso del combustible en el proceso de impulso.

A continuación se representa esquemáticamente el nuevo Ciclo Básico con las modificaciones perceptibles (Figura 1):

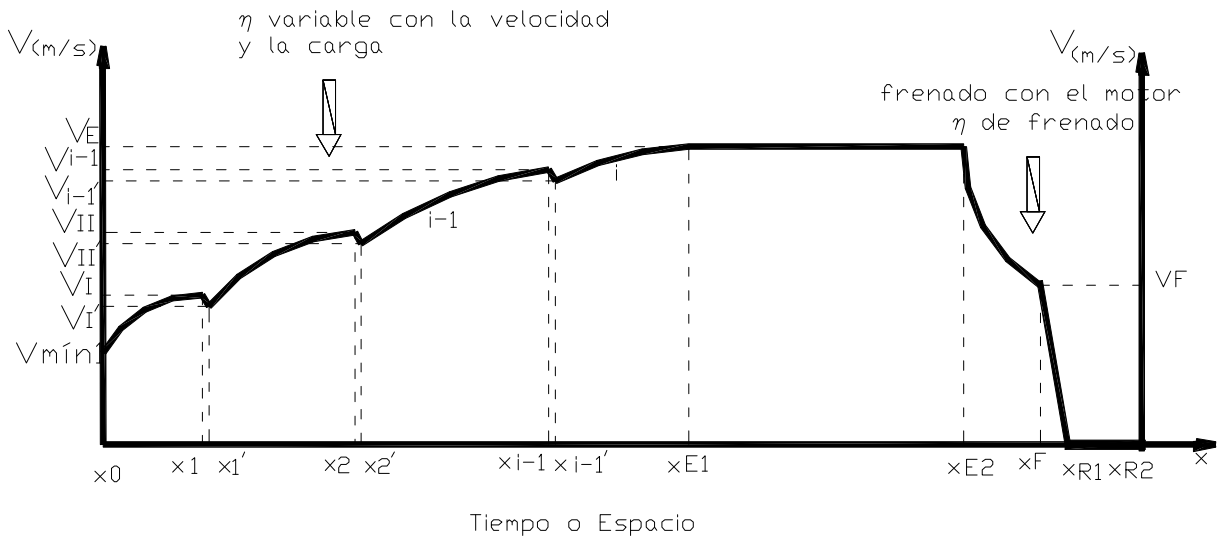


Figura 1. Representación esquemática del Ciclo Básico con las modificaciones perceptibles [6].

b- Métodos de cálculo del tiempo y el consumo en el Ciclo de Movimiento Básico Modificado.

El consumo q_m (g) se evaluó por etapas, siempre partiendo del valor calculado por la expresión de gasto de combustible en la unidad de tiempo, G_t (g/s):

$$\boxed{G_t = g_e \cdot N_{ec}} \quad (1) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{En característica exterior de velocidad} \quad (2) \\ \boxed{G_t = g_e \cdot N_{ex} = g_e \cdot P_{tx} \cdot v / \eta_o} \\ \text{En característica parcial de velocidad} \quad (3) \\ \boxed{G_t = (g_{eN} \cdot K_A \cdot K_N) \cdot \frac{(P_a + P_r) \cdot v_E}{\eta_o}} \end{array} \right. \quad \boxed{q_m = G_t \cdot t} \quad (4)$$

Donde:

g_e, g_{eN} –son los consumos específicos en característica parcial para un régimen de velocidad dado y a potencia máxima en característica exterior, respectivamente, g/W·s

K_A, K_n –coeficientes adimensionales que muestran la influencia del grado de carga y de la frecuencia de rotación del motor en el consumo de combustible.

v, v_E –velocidad de movimiento en un instante determinado y velocidad estable en marcha superior, m/s

N_e, N_{ec}, N_{ex} –son la potencia efectiva que demandan las resistencias en el motor en unas determinadas condiciones de movimiento y la potencia efectiva en característica exterior, W

P_{tx}, P_a, P_r –Fuerza tractiva en característica exterior y resistencias aerodinámicas y al rodamiento del vehículo, respectivamente, N

η_0 –eficiencia de la transmisión

t –tiempo de movimiento en cada período del ciclo, s

La expresión en característica exterior (2) se emplea en las etapas de impulso. La expresión en característica parcial: durante el tránsito a velocidad crucero (3). En cuanto al periodo de ralentí, se emplea esta última expresión con la particularidad de que:

El tiempo correspondiente a cada período que se emplea en la solución de la expresión (4), se obtiene a partir de la expresión general de movimiento del automóvil. En el ciclo teórico no se consideran vías con curvas, ni con pendientes, ni vehículos con remolques, por lo que se eliminan de la ecuación general las resistencias correspondientes, quedando esta como:

$$P_t - P_r - P_i - P_a = 0 \quad (7)$$

Donde: P_i es la fuerza de inercia.

Para el tránsito en el proceso de impulso:

$$t_{i+1} - t_i = \delta \cdot m \cdot \left[A \cdot \ln(v - a_{imp}^1) + B \cdot \ln(v - b_{imp}^1) + C \cdot \ln(v - c_{imp}^1) + D \cdot \ln(v - d_{imp}^1) \right]_{v_{onmi}}^{v_{cmi}} \quad (8)$$

Donde:

$a_{imp}^1, b_{imp}^1, c_{imp}^1$ y d_{imp}^1 - son coeficientes que resultan del procesamiento matemático de la ecuación.

A, B, C, D - coeficientes que resultan de diferentes combinaciones de los coeficientes anteriores

δ - coeficiente de las masas reducidas.

$$G_t = (g_{eN} \cdot K_A \cdot K_N) \cdot \frac{p_{pm} \cdot V_h \cdot \omega}{\tau} \quad (5)$$

Donde:

p_{pm} –presión media referida a las pérdidas mecánicas en ralentí, N/ m²

V_h –cilindrada, dm³

ω –frecuencia de rotación, 1/s

τ -número de tiempos del motor

p_{pm} se obtiene según tipo de motor:

Gasolina: $p_{pm} \approx 45000 + 14500 \cdot V_p$

Diesel: $p_{pm} \approx 105000 + (12000 \div 13800) \cdot V_p$.

Donde: V_p –es la velocidad media del pistón, m/s

Luego para obtener el equivalente de la masa de combustible en litros en cada período se divide el gasto q_m entre la densidad del combustible (ρ):

$$q = \frac{q_m}{10^3 \rho} \quad (\text{dm}^3) \quad (6)$$

Como se desprende de las ecuaciones anteriores, para determinar el consumo de combustible se hace necesaria la determinación del tiempo en cada etapa del ciclo. Los modelos matemáticos que describen el desplazamiento y la aceleración en cada una de las etapas del ciclo están determinados, pero no se incluyen, pues escapan a los objetivos de este trabajo.

m - masa del vehículo, kg

v_{cmi} , v_{onmi} - velocidad final e inicial en cada marcha i, m/s

$t_{i+1} - t_i$ - tiempo de movimiento en cada marcha i, s

Para el tránsito a velocidad crucero:

$$t_{E1} - t_{E2} = \frac{S_{E2} - S_{E1}}{v_E} = 45 \text{seg (por definición de las características del ciclo)} \quad (9)$$

Durante el frenado con el motor:

$$t_F - t_{E2} = \frac{\delta_F}{g} \int_{v_F}^{v_E} \frac{dv}{(a_{fren} \cdot v^2 + b_{fren} \cdot v + c_{fren})} \quad (10)$$

Donde:

t_{E1} , t_{E2} , t_F - tiempos de inicio y fin del movimiento a velocidad estable y de culminación del frenado con el motor, respectivamente, s

S_{E1} , S_{E2} - recorrido de inicio y fin del movimiento a velocidad estable, m

δ_F - coeficiente de masas reducidas durante el frenado con el motor

a_{fren} , b_{fren} , c_{fren} - coeficientes que resultan del procesamiento matemático de la expresión

v_E , v_F - velocidad estable y velocidad al final del proceso de frenado con el motor, m/s

Se recomienda como opción más eficiente, evaluar directamente en el programa DERIVE 5 las expresiones (8), (9) y (10). O calcularlas en el programa SECDC [7].

Durante el frenado intenso:

$$t_{R1} - t_F = \frac{200 \cdot s^{-1} \cdot i_{cms} \cdot r_d}{\phi \cdot g} \quad (11)$$

Donde:

r_d - radio dinámico, m

i_{cms} - relación de transmisión marcha superior

ϕ - coeficiente de adherencia

$t_{R1} - t_F$ - tiempo de frenado intenso, hasta velocidad cero, s

En la expresión (11), siguiendo las recomendaciones de Ilarionov [8], se asume que el frenado con el motor se realizará hasta una frecuencia de rotación de 200 s^{-1} .

Tiempo para cambios de marchas:

$$\text{Por definición: } t_{cm} = 2s \quad (12)$$

Tiempo en ralentí:

Por definición, un 5% del tiempo total del ciclo (Δt):

$$t_{R2} - t_{R1} = 0.05 \cdot \Delta t \quad (13)$$

En correspondencia con lo explicado en la introducción del trabajo, se declaran las expresiones empleadas para el cálculo de las velocidades de operación en las etapas del ciclo y de la eficiencia variable del sistema de transmisión.

Criterio de cambio de marcha en el impulso:

$$v_{cmi} = 1.06 \cdot \omega_M \cdot r_d \cdot i_{ci} \quad (14)$$

Donde:

ω_M : Frecuencia de rotación a torque máximo, s^{-1} .

r_d : Radio dinámico, m.

i_{ci} : Relación de transmisión total.

Expresión para determinar la caída de velocidad durante el cambio de marcha:

$$\Delta V = - \frac{\left(G \cdot (f_o + 7 \cdot 10^{-6} \cdot v_{cmi}^2) + (K_{aer} \cdot v_{cmi}^2) + ((2 + 0.009 \cdot v_{cmi}^2) \cdot G \cdot 10^{-3}) \right)}{m \cdot \delta} \cdot t_{cm} \quad (15)$$

Donde:

f_o : Coeficiente adimensional de resistencia a la rodadura a bajas velocidades.

K_{aer} : Coeficiente de resistencia aerodinámica, $N \cdot s^2/m^4$.

G: Peso total del vehículo, en N.

Expresión para determinar la eficiencia de la transmisión:

Considerando el carácter variable de la eficiencia mecánica de la transmisión con la velocidad y la carga, η_o se expresa como:

$$\eta_o = \chi - \frac{(2 + 0.09 \cdot V_i) \cdot G \cdot r_d \cdot i_{ci}}{10^3 \cdot M_{ex}}, \quad (16)$$

Siendo:

$$\chi = 0.98^k \cdot 0.97^l \cdot 0.995^m \quad [8] \quad (17)$$

Donde:

M_{ex} : Torque que entrega el motor a la velocidad analizada, dependiente de la frecuencia de rotación en característica exterior de velocidad, N·m.

k, l, m: Representan el número de pares cilíndricos y cónicos engranados y las transmisiones cardánicas que transmiten potencia, respectivamente.

c- Coeficiente de efectividad del trabajo del vehículo. CETA

Este coeficiente se propone como una forma de valorar desde otro ángulo, la efectividad del uso de la energía química del combustible en el proceso de impulso del vehículo. El CETA relaciona el trabajo conservativo (A_c) de la masa de la carga en relación con el trabajo no conservativo realizado por la misma masa (A_{noc}). Por tanto, el CETA se define por la relación:

$$CETA = \frac{100 \cdot A_c}{A_{no c}} \quad (18)$$

Aplicado el concepto al período de impulso, dentro del ciclo básico, se puede decir que, el trabajo conservativo va a ser igual a la variación de la energía cinética de la masa de la carga y que el trabajo no conservativo, va a venir dado por el combustible consumido en dicho período.

De tal forma, el Coeficiente de Efectividad del Trabajo del Automóvil (CETA) se expresa como:

$$CETA = \frac{0.5 \cdot m_c \cdot (v_E - v_{mín1})^2}{q_{m impulso} \cdot \rho \cdot PCI} \quad (19)$$

Donde: PCI: valor calórico del combustible, kJ/kg

d- Técnicas de Análisis Estadístico.

CETA depende directa o indirectamente de un número considerable de factores, siendo necesario el procesamiento estadístico para determinar la significación de los mismos, con vistas a su representación gráfica. La vía empleada fue usar el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS 5.1 y los métodos empleados fueron (Ver Figura 2):

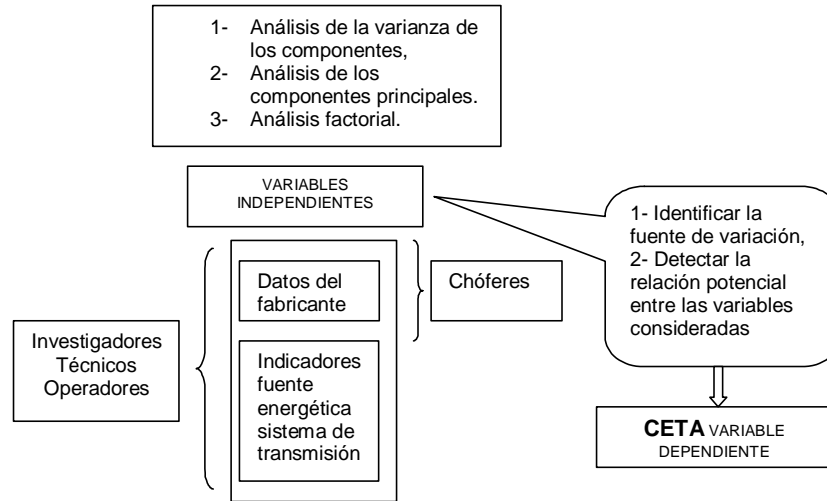


Figura 2. Técnicas de análisis de la varianza.

e- Resultados.

Los indicadores de consumo de combustible para las diferentes etapas del ciclo, obtenidos según las expresiones anteriores (2), (3), (4) evaluadas en cuatro vehículos pesados de transmisión mecánica de amplia difusión se presentan, a modo de ejemplo, en la tabla 1:

Tabla No. 1. Consumo durante el período de impulso y a velocidad constante [6].

| | Veh. 1 | Veh. 2 | Veh. 3 | Veh. 4 |
|--|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| Motor | Diesel | Diesel | Gasolina | Gasolina |
| geN, g/W*s | $4,72 \cdot 10^{-5}$ | $5,66 \cdot 10^{-5}$ | $10,69 \cdot 10^{-5}$ | $8,33 \cdot 10^{-5}$ |
| Densidad, g/dm ³ | 820 | 820 | 750 | 750 |
| Peso de la carga útil, N | 80688 | 119339 | 51257 | 29430 |
| Cilindrada, dm ³ | 10,85 | 14,86 | 6 | 4,25 |
| PCI combustible, kJ/kg | 42498 | 42498 | 43964 | 43964 |
| CONSUMO EN PERÍODO DE IMPULSO | | | | |
| Consumo en 1ra marcha, dm ³ | 0,0398 | 0,1234 | 0,0904 | 0,0542 |
| Consumo en 2da marcha, dm ³ | 0,0164 | 0,0146 | 0,0390 | 0,0202 |
| Consumo en 3ra marcha, dm ³ | 0,0102 | 0,0049 | 0,0278 | 0,0254 |
| Consumo en 4ta marcha, dm ³ | 0,0086 | 0,0071 | 0,0188 | 0,0249 |
| Consumo en 5ta marcha, dm ³ | 0,0111 | 0,0142 | 0,0238 | 0 |
| Consumo total en período de impulso, dm ³ | 0,0894 | 0,1478 | 0,2026 | 0,1264 |
| Consumo a velocidad estable | | | | |
| Consumo a 80 km/h durante 1 km de recorrido, dm ³ | 0,2052 | 0,4219 | 0,4713 | 0,2756 |
| Consumo a 80 km/h, (l/100km) | 20,52 | 42,19 | 47,13 | 27,56 |

De igual forma, el consumo en ralentí, según expresión (5), en los diferentes momentos en que se libera el pedal de suministro de combustible, arroja los resultados mostrados en la tabla (2):

Tabla No.2. Consumo en ralentí en diferentes etapas del ciclo básico [6].

| CONSUMO EN RALENTÍ por etapas del ciclo básico y vehículo | | | | | | | | |
|---|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|
| | Veh. 1 | | Veh. 2 | | Veh. 3 | | Veh. 4 | |
| | s | cm ³ | s | cm ³ | s | cm ³ | s | cm ³ |
| Cambio de Marchas | 8 | 11,4599 | 8 | 16,9391 | 8 | 18,9206 | 6 | 8,0559 |
| Frenado Intenso | 1,73 | 3,4809 | 2,22 | 4,7006 | 1,85 | 4,3754 | 1,65 | 2,2153 |
| Frenado con el Motor | 2,43 | 2,4782 | 4,69 | 9,9306 | 4,25 | 10,0516 | 6,36 | 8,5392 |
| Ralentí (al final del ciclo) | 4,48 | 6,4176 | 5,41 | 11,4551 | 4,93 | 11,6598 | 4,73 | 6,3507 |
| Ralentí Total | 16,6 | 23,8366 | 20,3 | 27,2402 | 18,5 | 45,0074 | 18,7 | 25,1611 |
| Consumo en Ralentí, (l/h) | 5,1569 | | 7,6226 | | 8,5142 | | 4,8335 | |

Del mismo modo, se presenta el CETA para los cuatro vehículos explicados:

Tabla No. 3. Coeficiente de Efectividad del Trabajo del Automóvil (CETA) [6].

| CETA | Veh. 1 | Veh. 2 | Veh. 3 | Veh. 4 |
|------|--------|--------|--------|--------|
| % | 66,24 | 55,15 | 20,62 | 28,89 |

Del análisis estadístico, se detectan como variables significativas: el peso (G), la potencia máxima ($N_{em\acute{a}x}$) y el peso de la carga útil (G_c). A continuación se muestra la representación gráfica de la dependencia de CETA contra las variables significativas, en este caso para un total de 20 vehículos pesados de transmisión mecánica, que incluyen los 4 vehículos referidos en las tablas 1, 2 y 3:

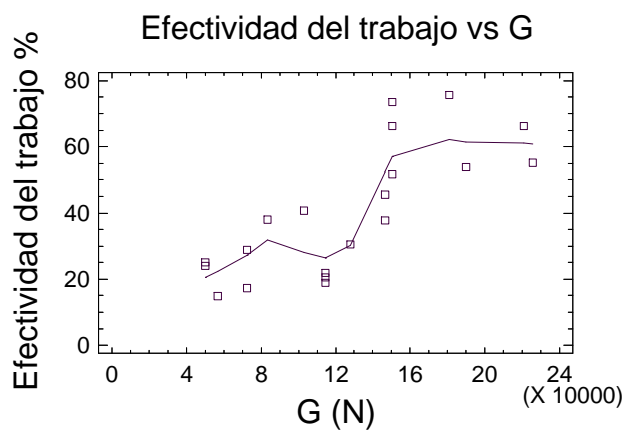


Figura 3. Dependencia del Coeficiente de efectividad del trabajo del automóvil vs. Peso total [6].

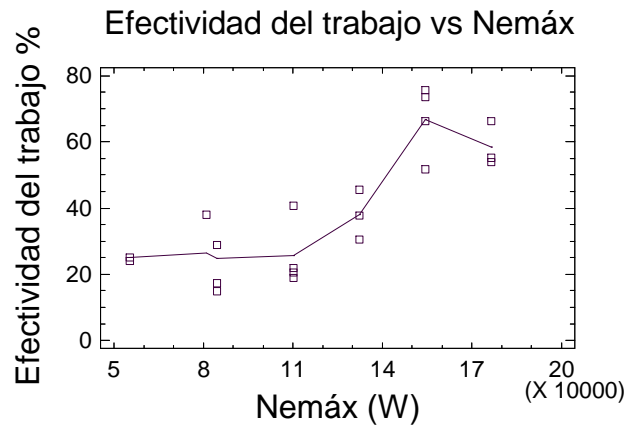


Figura 4. Dependencia del Coeficiente de efectividad del trabajo del automóvil vs. Potencia máxima [6].

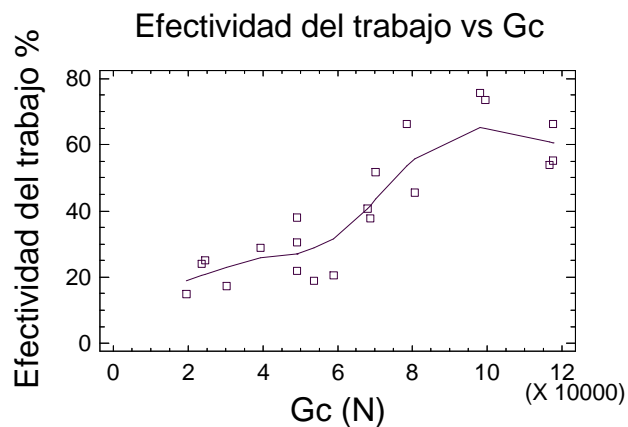


Figura 5. Dependencia del Coeficiente de efectividad del trabajo del automóvil vs. Peso de la carga [6].

f- Interpretación de los Resultados.

Los indicadores de consumo presentados en las tablas 1 y 2 permiten la valoración por etapas del trabajo del vehículo. Aunque los resultados obtenidos por la modelación pudieran diferir en algunos vehículos hasta en un 5 % ^[9] con relación a los resultados obtenidos de forma experimental para el mismo vehículo, las diferencias entre los vehículos comparados entre sí por la vía teórica se anulan, pues estos son analizados bajo las mismas restricciones y ecuaciones. Esto último se infiere, puesto que el análisis ocurre bajo un mismo instrumento. Como se nota, los resultados del consumo se ofrecen para la etapa estudiada tanto en litros como en litros por cada 100 km recorridos, lo cual constituye una herramienta para los operadores de flota quienes pueden evaluar el desempeño de sus dotaciones.

El CETA puede brindarse en rangos numéricos, pero el valor del coeficiente alcanza mayor significación cuando se muestra gráficamente su comportamiento en forma de ley (Figuras 3, 4 y 5), en función de los principales parámetros de la máquina automotriz. Al trabajar con los gráficos, los vehículos situados por debajo de la línea, ofrecen las peores prestaciones, desde el punto de vista de la efectividad de su trabajo. Esta conducta varía en dependencia de los miembros de la muestra.

3. Conclusiones.

1. El Ciclo de Movimiento Básico Modificado es una alternativa para obtener criterios acerca de los indicadores de consumo y de la eficiencia energética de uno o varios vehículos.
2. El CETA es un excelente criterio de evaluación, pues caracteriza el grado de aprovechamiento de la energía del combustible en una etapa significativa de movimiento del vehículo.
3. Los resultados obtenidos en la determinación del consumo, tanto en el período de impulso como en el de velocidad constante o ralentí, se acercan a los resultados indicados por los fabricantes o por la propia experiencia práctica.
4. El tratamiento estadístico de los resultados posibilitó la representación gráfica de los mismos en función de las variables que la técnica estadística muestra como de mayor trascendencia.

4. Referencias.

1. **FUENTES VEGA, J.** Selección, Evaluación y Renovación del Parque Vehicular, UCF, p. 190, 2002.
2. **PÉREZ ALCOVÉ, I.** *Metodología para la determinación del consumo de combustible en diferentes ciclos de movimiento.* Informe final de investigación, ISPJAE, Facultad de transporte, La Habana, 1984.
3. **GONZÁLEZ OROPESA, R.** Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte. Ingeniería Investigación y Tecnología. (México) I. (VI) 56 –63, 2003.
4. **LUC PELKMANS, D.** Influence of vehicle test cycle characteristics on fuel consumption and emissions of city buses. SAE 01FL-308, 2001.
5. **MILLO CARMENATE, V. et al.** *Definición de un ciclo de movimiento básico para camiones diesel.* Ingeniería Mecánica CUJAE La Habana Ene. 2004.
6. **PÉREZ GÁLVEZ, R.** *La nueva concepción del ciclo de movimiento básico e indicadores dinámicos y de consumo.* Tesis en opción al título de Master en Ciencias Técnicas. UCF. 2005.
7. **MUÑOZ, A. y PERAZA, D.** *Sistema de Evaluación de Cualidades Dinámicas y de Consumo.* Trabajo de diploma. UCF. 2006.
8. **ILARIONOV, V. A.** *Teoría y construcción de automóviles/* V. A. Ilarionov. Moscú: Editorial MIR, 1985. – 385p.
9. **GÓMEZ CRUZ, Y.** Conjunto de experimentos de cualidades dinámicas y de consumo aplicados en vehículos de transmisión mecánica. Trabajo de diploma. UCF. 2006.

**MSc. R. Pérez-Gálvez¹, Dr. J. R. Fuentes-Vega², Dr. J. B. Cogollos-Martínez³,
MSc. A. Toledo-Borrego⁴**

1. Asistente. Departamento. de Mecánica. Facultad de Ingeniería Mecánica. Teléfono: 511965.

E-mail: rpgalvez@ucf.edu.cu

2. Profesor Titular. Asesor del Rector. Teléfono: 520198

E-mail: jfuentes@ucf.edu.cu

3. Profesor Auxiliar. Rector Teléfono: 521521.

E-mail: jcogollo@ucf.edu.cu

4. Asistente. Dpto. de Informática. Facultad de Ingeniería Informática. Teléfono: 520198.

E-mail: atoledo@ucf.edu.cu

Universidad de Cienfuegos. Carretera a Rodas Km. 4, Cuatro caminos. CP 59430. Cuba