

REPÚBLICA DE CUBA.
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR.
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS.
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



CONJUNTO DE EXPERIMENTOS DE CUALIDADES DINAMICAS Y DE CONSUMO APLICADOS A VEHICULOS LIGEROS CLASICOS.

TRABAJO DE DIPLOMA

AUTOR: YOEL GOMEZ CRUZ

**TUTORES: M. Sc. ING. RAMÓN PÉREZ GÁLVEZ.
Dr. ING. JOSÉ RAMÓN FUENTES VEGA.**

AÑO DE LA REVOLUCION ENERGETICA EN CUBA.

CIENFUEGOS 2006.

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS.

Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos como parte de la culminación de estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica; autorizando que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser representado en evento alguno ni publicado sin la aprobación de la universidad.

Firma del autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnica
Nombre y Apellidos, firma

Firma del Tutor

Computación
Nombre y Apellidos, firma

Sistema de Documentación de Proyecto
Nombre y Apellidos, firma

Resumen.

En este trabajo se realiza un estudio experimental de algunos parámetros dinámicos y de consumo para lo cual se emplearon vehículos ligeros de carburación. Se hicieron diversas pruebas que describen las condiciones de explotación cuyos resultados se emplearán en el futuro para compararlos con los resultados que ofrece el software SECDC “Sistema de Evaluación de Cualidades Dinámicas y de Consumo” a fin de validar el empleo de este programa. Los experimentos constaron de dos variantes básicas: 1- Experimentos vehiculares de carretera según la concepción del Nuevo Ciclo de Movimiento Básico y 2- Los experimentos de banco para el régimen de ralentí. Cada experimento va acompañado de su descripción, los procedimientos usados, el juego de datos obtenidos y los métodos teóricos que sustentan el modelo a comparar.

Índice.

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	4
1.1 Introducción.	4
1.2 Característica exterior de velocidad de un Motor de Combustión Interna.	4
1.3 Fuerzas que actúan sobre el vehículo en movimiento.	6
1.4 Ecuación del movimiento.	9
1.5 Regímenes de Trabajo de las máquinas automotrices.	10
1.6 Ciclos de viaje.	13
1.7 Pruebas de los automóviles.	17
1.8 Conclusiones parciales.	20
CAPÍTULO II: HACIA UNA NUEVA CONCEPCIÓN DEL CICLO DE MOVIMIENTO BÁSICO.	21
INDICADORES COMPLEMENTARIOS.	
2.1 Introducción.	21
2.2 Característica general de los experimentos.	21
2.3 Prueba 1 Medición de consumo en ralentí	23
2.4 Prueba 2 Medición del Tiempo de cambio de marchas.	27
2.5 Prueba 3 Medición del consumo durante la aceleración del vehículo.	29
2.6 Prueba 4 Medición del tiempo y el espacio.	31
2.7 Conclusiones parciales.	35
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS.	36
3.1 Análisis del consumo de combustible en ralentí.	36
3.2 Análisis del tiempo de cambio de marchas.	37
3.3 Análisis del consumo durante la aceleración del vehículo.	38
3.4 Análisis del tiempo transcurrido y el espacio recorrido durante la aceleración y el frenado	39
3.5 Conclusiones parciales.	40
CONCLUSIONES	41
RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFIA	43

Introducción.

“...es una cuestión vital para la humanidad, todo lo relacionado con la producción de vehículos y todo lo relacionado con el ahorro de combustible...” [6]

La elevación sostenida de los precios del petróleo y sus derivados ha caracterizado los últimos cuarenta años. Esta situación se agudiza aún más para los países subdesarrollados importadores de este recurso energético que además, no disponen de un parque automotor moderno y sus infraestructuras viales en casi su totalidad, son obsoletas. Por otra parte, está demostrado por diversos autores ^[2, 4] la dependencia de la emisividad respecto al consumo de combustible; y el conjunto de vehículos que poseen como fuente motriz los motores de combustión interna ocasionan perjuicios al medio ambiente.

Pese a que aún la sociedad de consumo no esté totalmente comprometida con este fenómeno “uso de los recursos energéticos en el transporte terrestre”, se significan determinados esfuerzos para aminorar su efecto. No obstante, existe un grupo de países que hoy presta suma atención a la problemática, Cuba es uno de ellos. Poseemos dependencia histórica de los recursos energéticos, aún hoy cuando se avizoran avances en la explotación de nuestros yacimientos de petróleo, tanto en su calidad, como cantidad.

El manejo de los recursos energéticos, la supervivencia del país y su crecimiento toma recientemente nuevos matices que tiene como resultado inmediato “La revolución energética en Cuba”. En esta misión ocupa un sitio relevante el empleo de los recursos energéticos en el transporte. El país se ha caracterizado por marcadas etapas del desarrollo del transporte, en la etapa de la colaboración con la URSS y el campo socialista predominó la importación masiva de medios de transporte cuyo sello distintivo no era precisamente la economía de combustible –no dejamos de reconocer las otras excelentes cualidades que poseían y el problema que resolvieron en su momento- también en esta etapa se importaron lotes de otra procedencia, que bajo condiciones preferenciales de precio impedían que nos equipáramos de vehículos “ahorrativos”- se refiere que muchos modelos fueron concebidos antes de la crisis del petróleo de 1973- Entonces arribamos a la etapa de la desaparición de la URSS y la caída del modelo socialista este-europeo con una gran parte del parque descrito anteriormente, lo cual bajo las nuevas condiciones impuestas a nuestro comercio exterior motivó el cese de la operación de un gran número de vehículos y la explotación ineficiente del resto. En este lapso se efectuaron importaciones puntuales y no se caracterizaron las grandes compras, fue una tendencia la compra de vehículos de segunda mano, que resolvían el problema de la existencia del medio de

transporte, pero no de su economía de combustible. Así arribamos a la tercera etapa, que hoy consideramos tiene en cuenta los aprendizajes del pasado y junto al crecimiento económico, volvemos a adquirir cantidades significativas de vehículos. La historia deja claro que el camino de la eficiencia energética en el transporte es paralelo al camino del desarrollo definitivo del país. En el transporte automotor, se han producido incrementos importantes en la cantidad de vehículos, en su diversidad, en su capacidad de carga y velocidades de movimiento de sus unidades y en el aumento de los niveles de transportación de pasajeros, lo que trae como consecuencia el necesario desarrollo de la infraestructura y de los métodos científicos que utiliza la explotación técnica, como ciencia de la ingeniería, que en la esfera del transporte, se enfoca hacia el logro de la máxima reducción de los recursos destinados al desarrollo de los procesos de transportación, junto al más completo aprovechamiento de su capacidad de trabajo.

El consumo energético en el parque vehicular entre otros se incrementa como consecuencia de:

1. Deficiencias en los procedimientos de gestión del parque vehicular.
2. El inadecuado estado técnico y de regulación del parque.
3. Calificación no adecuada de los conductores y ausencia de una política de elevación de la misma.

Por otro lado, el envejecimiento del parque vehicular viene acompañado por un incremento de los indicadores de consumo de combustible, la disminución de sus cualidades dinámicas y de los costos del servicio técnico.

Los procesos de gestión del parque vehicular han de pasar por una rigurosa evaluación de las alternativas ante una dotación determinada, por lo general, diversa en sus características y posibilidades, lo cual requiere de la utilización de métodos económico-matemáticos combinados con el análisis dinámico y de consumo. De ahí que se estén desarrollando software como el SECDC "Sistema de Evaluación de Cualidades Dinámicas y de Consumo". El uso de estas herramientas provocan una nueva necesidad que es la de comparar los resultados de los modelos matemáticos con los resultados obtenidos en las pruebas a tiempo real.

Problema.

La complejidad de los modelos matemáticos que describen las características dinámicas y de consumo de las máquinas automotrices exige la experimentación de la conducta de estos eventos en las condiciones reales de explotación.

Objeto de Estudio.

El comportamiento de las cualidades dinámicas y de consumo de combustible en los vehículos de transmisión mecánica durante la operación en los regímenes que caracterizan a la Nueva Concepción del Ciclo de Movimiento Básico "NCCB".

Hipótesis del trabajo.

El empleo de técnicas y experimentos brindarán un grupo de resultados que en el futuro próximo permitirán la comparación de estos, contra los modelos matemáticos que sustentan al software SECDC.

Objetivo general.

Obtener mediante la medición del consumo de combustible y de las dimensiones tiempo y espacio a tiempo real, bajo la concepción del Nuevo Ciclo de Movimiento Básico “NCCB” en la ruta escogida un grupo de resultados lo suficientemente aceptables para ser empleados en futuras comparaciones con los resultados del software SECDC.

Objetivos específicos.

1. Establecer un conjunto de experimentos de cualidades dinámicas y de consumo en condiciones de banco y carretera.
2. Realizar un primer procesamiento para obtener inferencias que en próximos trabajos permitan la validación del software en desarrollo “SECDC”.

Tareas de Investigación.

1. Recopilación bibliográfica que muestre el estado del arte.
2. Análisis de los parámetros, las cualidades dinámicas y de consumo e indicadores que posibilitan en la actualidad valorar el trabajo de los vehículos de transmisión mecánica.
3. Estudio de los modelos matemáticos existentes, que vinculen la relación vehículo-vía-condiciones de explotación.
4. Diseño de los experimentos vehiculares de banco y carretera.
5. Recopilación y procesamiento de los resultados de la experimentación en las condiciones reales de movimiento y operación.

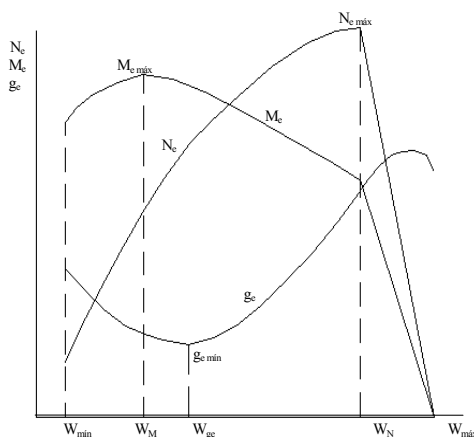
Capítulo I. Generalidades.

1.1 Introducción.

Se inicia el capítulo con el estudio de las características exteriores de velocidad de los motores de combustión interna y las ecuaciones para su determinación teórica. Le sigue el estudio de la dinámica del automóvil, que parte del estudio de las fuerzas actuantes en el vehículo y que concluye con el planteamiento de la ecuación de movimiento. Las ecuaciones para la determinación teórica de la característica exterior, la ecuación de movimiento, y posteriormente, los regímenes de trabajo, el estudio de los indicadores de consumo de combustible y de los factores que inciden en los mismos, son imprescindibles para la modelación matemática de los ciclos de movimiento. Por último, lo realizado en materia de estudio de ciclos de teóricos de movimiento nos permitirá arribar a conclusiones acerca de la necesidad de desarrollo del trabajo.

1.2 Característica exterior de velocidad de los Motores de Combustión Interna clásicos.

Los automóviles se mueven como resultado de la acción que sobre ellos ejercen diferentes fuerzas. Estas se dividen en fuerzas que mueven la máquina automotriz (motrices), fuerzas que se oponen al movimiento (resistencias) y fuerzas que aparecen por la contraposición a otras fuerzas (reacciones). La principal fuerza motriz es la fuerza tractiva (P_t), la cual surge en las ruedas motrices como resultado del trabajo de la fuente motriz, del sistema de transmisión y de su interacción con la vía.



Para los cálculos dinámicos se utiliza generalmente la característica exterior de velocidad del motor, la cual considera la dependencia de la potencia efectiva (N_e), del momento efectivo (M_e) y del consumo específico de combustible (g_e) en función de la frecuencia de rotación del cigüeñal del motor (ω).

Figura 1.1 Característica exterior de velocidad de un motor de combustión interna.

La característica exterior de velocidad del motor se obtiene para carga total, es decir, para máximo suministro de combustible. En la figura 1. está representada la característica exterior de velocidad de un MCI, estando señalados puntos característicos: frecuencia de rotación mínima y

máxima ($\omega_{\min}$, $\omega_{\max}$), momento torsor máximo ($M_{e \max}$), potencia máxima ($N_{e \max}$) y consumo específico mínimo ($g_{e \min}$).

La $\omega_{\min}$ es la mínima frecuencia de rotación del cigüeñal para la cual el motor trabaja establemente bajo carga total. Con el aumento de la ω , el M_e y la N_e se incrementan y alcanzan sus valores máximos para frecuencias de rotación ω_M y ω_N , respectivamente, mientras g_e descende y alcanza sus valores mínimos para una frecuencia de rotación ω_{ge} , muy próxima a la de torque máximo en los motores convencionales más actuales. Para $\omega > \omega_N$ (embalamiento) la N_e disminuye y se incrementan las cargas dinámicas que actúan sobre las piezas del mecanismo biela-manivela, por eso se trata de que la $\omega_{\max}$ no sobrepase la ω_N en más de un 10-20 %.

La característica exterior se puede determinar de forma experimental, en un banco de ensayo de motores o de forma teórica, siendo las expresiones más utilizadas las siguientes [1, 8, 15]:

$$N_{ex} = N_{emax} \left[C_1 \left(\frac{\omega_x}{\omega_N} \right) + C_2 \left(\frac{\omega_x}{\omega_N} \right)^2 - C_3 \left(\frac{\omega_x}{\omega_N} \right)^3 \right] \quad (\text{kW}) \quad (1.1)$$

De esta forma, el torque para una frecuencia de rotación ω_x del cigüeñal del motor:

$$M_{ex} = \frac{N_{ex} \cdot 10^3}{\omega_x} = M_{eN} \left[C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{\omega_x}{\omega_N} \right) - C_3 \cdot \left(\frac{\omega_x}{\omega_N} \right)^2 \right] \quad (\text{N.m}) \quad (1.2)$$

$$M_{eN} = \frac{N_{emax} \cdot 10^3}{\omega_N}$$

y por tanto: (1.3)

Para determinar el consumo específico de combustible:

$$g_{ex} = g_{eN} \left[C_4 - C_5 \left(\frac{\omega_x}{\omega_N} \right) + C_6 \left(\frac{\omega_x}{\omega_N} \right)^2 \right] \quad (\text{g/kW.h}) \quad (1.4)$$

donde: $N_{e \max}$, ω_N - son datos que acompañan la documentación técnica del motor.

N_{ex} , M_{ex} , g_{ex} - es la potencia, el torque y el consumo específico para una frecuencia de rotación ω_x del motor, respectivamente.

C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 y C_6 - son coeficientes empíricos que dependen del tipo de motor (Tabla 1.1 y expresiones 1.5-1.6).

M_{eN} , g_{eN} - torque y consumo específico para potencia máxima en característica exterior.

Tabla 1.1 Coeficientes empíricos para la determinación de los parámetros de salida del motor.

Motor	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Carburación	1,00	1,00	1,00	1,20	1,00	0,80
-Inyección Directa	0,53	1,56	1,09	1,55	1,55	1,00
-Precámara.	0,70	1,30	1,00	0,35	1,35	1,00
-Cámara de Turbulencia	0,60	1,40	1,00	1,20	1,20	1,00

Para la determinación de estos coeficientes C_1 , C_2 y C_3 en los motores diesel, se pueden utilizar las siguientes ecuaciones ^[11]:

$$C_1 = 1 - \frac{A_{Me}}{100} \cdot \frac{e_n \cdot (2 - e_n)}{(e_n - 1)^2}; \quad C_2 = 2 \cdot \frac{A_{Me}}{100} \cdot \frac{e_n}{(e_n - 1)^2}; \quad C_3 = \frac{A_{Me}}{100} \cdot \left(\frac{e_n}{e_n - 1} \right)^2 \quad (1.5)$$

Para motores de gasolina se utilizan las siguientes ecuaciones ^[11]:

$$C_1 = 2 - \frac{25}{A_{Me}}; \quad C_2 = \frac{50}{A_{Me}} - 1; \quad C_3 = \frac{25}{A_{Me}} \quad (1.6)$$

$$A_{Me} = \frac{(M_{e\max} - M_{eN}) \cdot 100}{M_{eN}} = \left(\frac{M_{e\max}}{M_{eN}} - 1 \right) \cdot 100 = (e_M - 1) \cdot 100$$

$$e_n = \frac{\omega_N}{\omega_M}; \quad e_M = \frac{M_{e\max}}{M_{eN}}$$

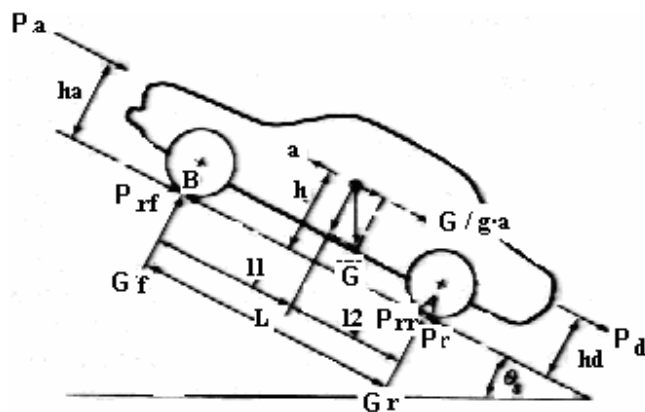
donde: A_{Me} - es el denominado coeficiente de adaptabilidad del motor

en, e_M - coeficientes de elasticidad de frecuencia de rotación y torque del motor, respectivamente

Si bien la mayor parte del tiempo, el motor de una máquina automotriz trabaja a cargas parciales, y el trabajo en característica exterior es poco frecuente, se emplea la característica exterior, porque a partir de ella se pueden conocer las máximas potencialidades del vehículo, y estimar con acierto las posibilidades de movimiento de éste.

1.3 Fuerzas que actúan sobre el vehículo en movimiento.

En la figura 1.2 se representa el esquema del sólido rígido de vehículo ligero en condiciones usuales de movimiento. Para ello se ha considerado que se mueve en una pendiente ascendente en curva con aceleración con remolque.



- P_a : Resistencia aerodinámica.
- P_{rf} : Resistencia a la rodadura de las ruedas delanteras.
- P_{rr} : Resistencia a la rodadura de las ruedas traseras.
- P_d : Fuerza de tiro o del remolque.
- P_α : Resistencia a la inclinación.
- P_t : Fuerza tractiva de las ruedas delanteras.
- P_t : Fuerza tractiva de las ruedas traseras.
- $P_i = G/g \cdot a$: Fuerza de inercia.

Figura 1.2 Fuerzas que actúan sobre el vehículo en movimiento.

1.3.1 Resistencia aerodinámica (Pa).

La resistencia aerodinámica ^[15, 19], considerando el efecto de la dirección del aire, mediante un valor entre 1,12 y 1,38, puede ser calculada por:

$$P_a = (1,12 \div 1,38) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot C_D \cdot F \cdot v^2 = K_{am} \cdot F \cdot v^2 \quad (1.7)$$

Donde Kar es un coeficiente aerodinámico que toma en cuenta además de la forma aerodinámica del vehículo y los efectos del cambio de la dirección del viento en la magnitud de Pa, las condiciones climáticas en que se realiza la evaluación y que definen el valor de ρ .

1.3.2 Resistencia a la rodadura (Pr).

Se utilizará entonces en el cálculo de la resistencia a la rodadura la dependencia (1.8), ya que es adecuada tanto para el trabajo con tablas, como para utilizar valores de f_0 determinados experimentalmente, los cuales se utilizarán en ciclos reales o específicos. Esta dependencia por demás, ha demostrado en varios trabajos dar buenos resultados ^{[15][19]}. De tal forma:

$$P_r = G \cdot f \cdot \cos \alpha = G \cdot (f_0 + K_f \cdot v^2) \cdot \cos \alpha \quad (1.8)$$

1.3.3 Resistencia debido a la pendiente (Pa).

La resistencia debido a la inclinación de la superficie de apoyo, es la componente del peso paralela a la dirección de movimiento. Cuando la pendiente es positiva es una resistencia y en pendiente negativa se constituye en una fuerza motriz, o sea, se encuentra a favor del movimiento.

$$P_\alpha = G \cdot \sin \alpha \quad (1.9)$$

1.3.4 Resistencia al camino (Pc).

Se denomina así a la suma de la resistencia al rodamiento (Pr) más la resistencia a la pendiente (Pa), razón por la cual no aparece en el diagrama del sólido rígido. Se define por el hecho de que estas resistencias son las variables fundamentales de la resistencia vial y por la simplificación que puede introducirse en modelos y demostraciones desde el punto de vista matemático.

$$P_c = P_r + P_\alpha = G \cdot f \cdot \cos \alpha + G \cdot \sin \alpha = G \cdot (f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \quad (1.10)$$

En función de la pendiente puede expresarse según:

$$P_c = \frac{G \cdot (f + p)}{\sqrt{1 + p^2}}$$

donde p es la pendiente en %.

Para pendientes menores del 10%: $P_c = G \cdot (f + p)$

También se puede designar por: $P_c = G \cdot \Psi$, donde ψ es el denominado coeficiente de resistencia al camino.

1.3.5 Fuerza de inercia (Pi).

Varios autores, proponen usar la siguiente ecuación simplificada en vehículos con motores de 4 o

$$\delta = 1,04 + \frac{A}{i_{si}^2} \quad (1.11)$$

más cilindros:

Donde: i_{si} -relación de transmisión conectada en la caja de velocidad.

A –coeficiente que depende del tipo de vehículo y de su tamaño. $A=0.04-0.06$. Los valores menores para vehículos ligeros y los mayores para pesados.

Es más sencillo utilizar la ecuación anterior, que además se ha probado.

1.3.6 Resistencia debido a las curvas (Pcur).

Para las condiciones típicas de movimiento en las curvas se puede considerar la fuerza lateral proporcional a la rigidez de deriva (C_α) y a pequeños ángulos de deriva ^[23]:

$$P_y = C_\alpha \cdot \theta$$

Resolviendo para pequeños ángulos de deriva, con radio de la curva medido con respecto al centro del puente trasero (R) y peralte de la vía (e).

$$P_{cur} = \frac{[G \cdot v^2 / (g \cdot R) - G \cdot e]^2}{C_\alpha \cdot N_w} \quad (1.12)$$

1.3.7 Resistencia en el gancho o fuerza de tiro (Pgan).

La fuerza de tiro (Pgan) surge debido a la acción del remolque arrastrado, y se compone de las resistencias a la rodadura (P_{rr}), inclinación ($P_{\alpha r}$), inercia (P_{ir}), curvas ($P_{cur r}$) y aerodinámica

$$(P_{ar}) \text{ del remolque. } P_{gan} = P_{rr} + P_{\alpha r} + P_{ir} + P_{cur r} + P_{ar}, N$$

La resistencia aerodinámica del remolque no se calcula independientemente, sino que se considera incrementando la del vehículo tractor en un 25%, según la mayoría de los autores ^{[8][15]}.

Otros consideran el incremento del 10%, pero consideramos más acertado el primer criterio.

Partiendo de ello, la ecuación general de las resistencias en el gancho quedaría como:

$$P_{gan} = G_r \cdot \sin \alpha + G_r \cdot (f_o + K_f \cdot v^2) \cdot \cos \alpha + \frac{(m_r \cdot v^2 / R - m_r \cdot g \cdot e)^2}{C_{\alpha r} \cdot N_{wr}} + \delta \cdot \frac{G_r}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad (1.13)$$

Donde: G_r , m_r –son respectivamente el peso total y la masa total del remolque.

Como quiera que las únicas masas en rotación del remolque son las ruedas, en su caso el coeficiente de las masas reducidas se determina según:

$\delta_r = 1 + \frac{g}{G_r \cdot r_{dr}^2} \cdot \sum I_r$; donde $\sum I_r$ representa la suma de los momentos de inercia de sus ruedas

1.3.8 La fuerza tractiva

Es la fuerza motriz del movimiento, surge como un producto de la interacción rueda-superficie de apoyo cuando en la rueda se transmite un momento motriz. Como fuerza motriz es la encargada de vencer todas las resistencias que se produzcan durante el movimiento en las condiciones dadas. Su magnitud se calcula según:

$$P_t = \frac{M_m}{r_d} = \frac{M_e \cdot \eta_0 \cdot \eta_s}{r_d \cdot i_c} \quad (1.14)$$

donde: η_0 , η_s son respectivamente la eficiencia mecánica de la transmisión y la eficiencia de patinaje. Para los cálculos prácticos, en condiciones normales de movimiento $\eta_s \cong 1$.

El valor máximo de P_t no depende únicamente del torque transmitido por el motor y de la marcha conectada, sino también de la interacción rueda-suelo, que se expresa a través de la fuerza de adherencia. En tal sentido, se establece una relación entre la fuerza tractiva que es capaz de generar el vehículo en esas condiciones de movimiento (P_{tx}), la resistencia sumaria al movimiento ($P_{t nec}$) y la fuerza de adherencia (P_μ), que es la condición necesaria del movimiento: $P_{tx} \geq P_{t nec} \leq P_\mu$

1.4 Ecuación del movimiento.

De la sumatoria de fuerzas en la dirección del movimiento, en un vehículo en su condición más general del movimiento, tal y como se muestra en la figura 1.2, se arriba al balance de tracción:

$$P_t - P_r - P_\alpha - P_i - P_a - P_{cur} = 0 \quad (1.15)$$

Partiendo de la ecuación (1.15), y sustituyendo en esta las ecuaciones desde la (1.7 -1.14) se obtiene la ecuación fundamental del movimiento para estos vehículos:

$$P_t = (G + G_r) \cdot (f_0 + K_f \cdot v^2) \cdot \cos \alpha + (G + G_r) \cdot \sin \alpha + \left(\frac{G}{g} \cdot \delta + \frac{G_r}{g} \cdot \delta_r \right) \cdot \frac{dv}{dt} + 1.25 \cdot K_{am} \cdot F \cdot v^2 + \frac{(m \cdot v^2 / R - G \cdot e)^2}{C_\alpha \cdot N_w} + \frac{(m_r \cdot v^2 / R - G_r \cdot e)^2}{C_{\alpha r} \cdot N_{wr}} \quad (1.20)$$

La posibilidad de un vehículo de vencer las resistencias existentes al movimiento con una determinada fuerza tractiva ($P_{t nec}$) está limitada por dos factores: 1)-La fuerza tractiva que el conjunto motor-transmisión es capaz de generar en las ruedas en característica exterior a esa

velocidad (P_{tx}); 2)-La adherencia existente entre rueda-superficie de apoyo, representada por la fuerza de adherencia (P_{μ}). De tal forma, esta condición se expresa por: $P_{tx} \geq P_{nec} \leq P_{\mu}$

En vías con elevado valor del coeficiente de adherencia, se considerará la primera como la limitante principal a las capacidades dinámicas del vehículo.

1.5 Regímenes de trabajo de las máquinas automotrices.

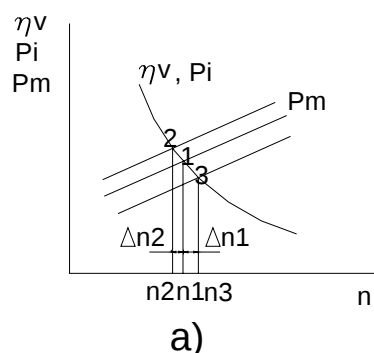
1.5.1 Régimen de marcha en vacío (ralentí).

Como recoge V. Millo en ^[15]:

La duración del trabajo del motor en marcha en vacío en condiciones de ciudad constituye del 17-22%, en los ómnibus 29%, alcanzando en los vehículos ligeros que trabajan como taxis un 30-35% . En carretera, en dependencia de los parámetros y del estado de la red vial y de las características del flujo de transporte, puede encontrarse entre los límites del 1-5% ^[15]. Los mayores valores se relacionan con condiciones de saturación de las vías magistrales. El motor en marcha en vacío, como está claro, no produce trabajo útil, por eso el chofer debe esforzarse en limitar la duración de éste régimen.

Por su parte Jovaj ^[12] dice:

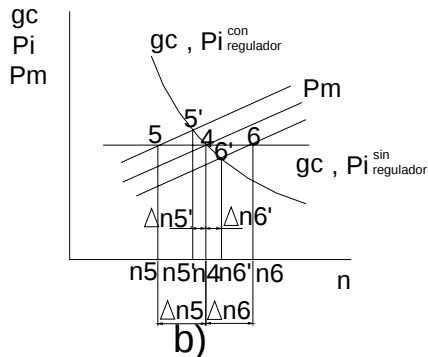
En los motores para medio de transporte tiene gran importancia su funcionamiento estable con el número mínimo de revoluciones de la marcha en vacío (ralentí). Este es necesario en el caso de paradas cortas del automóvil, cuando se cambia de velocidades, cuando se baja una cuesta con el motor desembragado, etc. El funcionamiento con el motor en marcha en vacío será estable en el caso en que su trabajo indicado en estas condiciones sea igual al de las pérdidas mecánicas.



En un motor de carburador el número mínimo de la marcha en vacío se obtiene cuando la mariposa de los gases está entornada hasta el límite. En estas condiciones el coeficiente de llenado η_v varía en función del número de revoluciones como se indica en la Fig. 1.3 a). La presión indicada media P_i varía aproximadamente lo mismo.

Fig. 1.3 a) Condiciones para la obtención de un régimen estable a las revoluciones mínimas para la marcha en vacío (carburación).

El número de revoluciones correspondiente al funcionamiento estable del motor depende del estado térmico con el cual la presión media de las perdidas económicas $P_m = P_i$.



En un motor diesel, donde la cantidad de aire no se regula, la presión indicada media P_i con la marcha en vacío se determina por la característica del suministro de combustible G_c cuando la cremallera de la bomba de inyección se encuentra en la posición correspondiente a dicha marcha. Fig.1.3 b).

Fig. 1.3 b) Condiciones para la obtención de un régimen estable a las revoluciones mínimas para la marcha en vacío (Diesel).

Al número de revoluciones de la marcha en vacío le corresponde el punto 4. Al variar las perdidas mecánicas (por ejemplo, temperatura del agua y del aceite, el equilibrio empieza en el punto 5 con una variación considerable del número de revoluciones del cigüeñal igual a Δn_5 , y el funcionamiento del motor diesel será extremadamente inestable. Cuando el aumento de P_m es excesivamente grande puede pararse el motor.

En el caso en que las perdidas disminuyan, el equilibrio se restablecerá en el punto 6 con un aumento Δn_6 considerable del numero de revoluciones.

Para el funcionamiento estable del motor diesel se necesita un regulador del número mínimo estable de revoluciones de la marcha en vacío que, actuando sobre la cremallera de la bomba de inyección, asegure la característica del suministro de combustible que muestra la Fig.1.3 b) (puntos 5' y 6'); en este caso el numero de revoluciones varía en la magnitud ($\Delta n_5'$ ó $\Delta n_6'$).

Un motor diesel para medios de transporte debe tener dos reguladores: uno del número máximo de revoluciones y otro del número mínimo de revoluciones.

Al girar el árbol 6 los contrapesos 3 del regulador, sometidos a la acción de las fuerzas centrífugas, tienden a desplazarse. Su separación se ve dificultada por la tensión previa de los muelles 7, que se elige de manera que al comienzo de la acción del regulador corresponda al número mínimo de revoluciones de la marcha en vacío n_1 .

Cuando el número de revoluciones aumenta hasta n_2 los salientes de los contrapesos entran en contacto con las superficies frontales de los platillos en que se apoyan los muelles 9, que también tienen tensión previa y, en adelante la tensión de los contrapesos cesa. Esta zona de acción del regulador corresponde a régimen de funcionamiento del motor diesel de marcha en vacío. En el diapason de aumento del numero de revoluciones desde $n_2 = n_{\text{nom}}$. El regulador no actúa, el régimen de funcionamiento del motor no lo puede variar el conductor. Cuando el número de

revoluciones alcanza el valor nominal, la fuerza centrífuga de los contrapesos se hace igual a la tensión previa del muelle 9. Desde este instante al disminuir la carga y aumentar el número de revoluciones los contrapesos comienzan otra vez a separarse y a influir sobre la cremallera de la bomba de inyección, disminuyendo el suministro de combustible y limitando así el número de revoluciones del cigüeñal. El número límite de revoluciones $n_4 = n_{\text{máx.}}$, con el cual el motor diesel funciona sin cargas.

Para conseguir una coordinación mas completa del régimen del motor con las condiciones de explotación y su funcionamiento sea más estable en toda la gama de regímenes de explotación se utilizan reguladores de regímenes múltiples.

1.5.2 Régimen de impulso o aceleración.

En condiciones de ciudad, la duración del trabajo del automóvil en un régimen inestable, alcanza un 67% y el 45-51% del combustible consumido se gasta en estos regímenes. Durante el régimen de impulso el gasto de combustible es 1,35-1,45 veces mayor que durante el movimiento uniforme, en el mismo tramo de vía. El consumo de combustible en los regímenes de impulso, antes que todo, depende de la aceleración media, de la frecuencia y calidad de cumplimiento de los procedimientos de cambio de marcha y también de las frecuencias de rotación sumarias del cigüeñal en la unidad de recorrido.

La fundamental reserva de disminución del consumo de combustible es el perfeccionamiento de la organización del movimiento vial por medio de la reducción de su no-uniformidad. Disminuir la no-uniformidad es posible con la correcta formación de un flujo de transporte homogéneo, con la disminución del número de paradas e intersecciones y con la utilización de circunvalaciones que eviten la tensión durante el trabajo de los conductores.

La introducción de limitaciones de velocidad está íntimamente relacionada con el consumo de combustible, pero se puede afirmar que, las limitaciones de la velocidad máxima en ciudades y carreteras, no contradicen el uso de motores con suficiente reserva de potencia. En diferentes límites esta reserva de potencia es necesaria con vistas a garantizar elevadas cualidades dinámicas, efectividad en el vencimiento de pendientes y cumplimiento de rápidos adelantos y maniobras.

1.5.3 Régimen de movimiento estable.

La duración del trabajo del vehículo en el régimen estable en ciudades no es relativamente grande, pero su influencia en los fundamentales indicadores del vehículo es suficientemente sensible. Alrededor del 40% de los vehículos pesados se mueven en vías principales entre ciudades con velocidades de 60 km./h, y en las partes centrales de la ciudad a 22 km./h^[15]. El

movimiento estable del vehículo garantiza la reducción del consumo hasta 35-42%, en comparación con el consumo en regímenes inestables ^[15]. Es importante también considerar que siempre existen pequeñas variaciones de velocidad, que deben considerarse en éste régimen y que generalmente se miden por la aceleración positiva relativa, por la energía cinética positiva o por la desviación estándar de la velocidad media.

Un importante papel en la disminución del consumo lo juega la correcta elección de la marcha en la caja de velocidades, conforme a las condiciones concretas de la vía. Durante el movimiento del vehículo a velocidad constante pero a diferentes marchas, el consumo de combustible varía sustancialmente. En cualquier caso, la duración del impulso en las marchas intermedias debe ser reducida al mínimo. Las recomendaciones metodológicas generales, se concretan en que la duración del movimiento del automóvil en directa debe superar a su fase precedente de impulso, no menos de un 15-20 %. Sólo en este caso se garantiza un trabajo económico del automóvil y el paso a la marcha superior se justifica.

1.5.4 Régimen de deceleración.

La disminución de la velocidad de movimiento del automóvil es necesario producirla suavemente, con máxima utilización de la recuperación. La utilización de la recuperación puede garantizar, en dependencia de la complejidad de las condiciones de explotación, una economía de consumo hasta de un 4%. El mayor efecto de la recuperación se obtiene en magistrales con bajadas prolongadas, en las cuales se puede economizar hasta un 10% de combustible.

En condiciones urbanas, la duración del trabajo de los vehículos pesados en el régimen de deceleración forzada alcanza el 25% del balance general de tiempo de permanencia del vehículo en la línea. En este régimen el motor no realiza trabajo útil, no obstante consume del 8-12% de su gasto general de combustible ^[5].

1.6- Ciclos de Viaje.

Los ciclos de viaje son herramientas para solucionar problemas de la ingeniería de las transportaciones pues ellas nos ayudan a explicar la influencia de determinados factores en los procesos reales. Según Gonzáles Oropesa ^[10] un ciclo de manejo (entiéndase ciclo de viaje) es un perfil de velocidades trazados en un plano velocidad-tiempo, que representa una forma típica de conducir en una ciudad o autopista, tomando en cuenta la tecnología del vehículo, las características del tráfico de las carreteras, características climáticas y geográficas y también las características de los mismos conductores.

La literatura refiere muchos ciclos de viajes los cuales han sido definidos para determinar o evaluar determinadas cualidades de explotación de los vehículos. A continuación referimos algunos de ellos.

1.6.1 Los Ciclos de Viaje Foráneos.

De acuerdo con Bosh ^[3], un ciclo de viaje ampliamente usado en Europa es el ECE/EG. En EUA existen diferentes ciclos, uno de los más usados es el FTP 75. También son usados otros ciclos de viaje:

- BCDC: Ciclo de viaje de ciudad Braunschweig.
- FIGE: Ciclo trasiente europeo.
- HDTC (EU FTP HD): Ciclo trasiente de EU para vehículos pesados.
- NYCC: Ciclo de viaje de la ciudad Nueva York.
- NYCOMP: Ciclo de viaje de Nueva York compuesto.
- BP/London: Ciclo de viaje de la compañía de petróleo de London.
- BC: Ciclo de viaje de Berlín.
- GEIPOT: Ciclo de viaje de la compañía de planeación de Brasil.
- CBDC (SAE J 1376): Ciclo de viaje para vehículos pesados de EU y Canadá.
- DUBDC: Ciclo urbano Alemán para ómnibus.
- De Lijn: Ciclo de viaje de ciudad de Bélgica.

En la tesis de V. Millo ^[15] se muestran las figuras, con la representación gráfica de los principales ciclos de viaje.

Dada la diferencia existente entre las normativas que rigen los diferentes ciclos de viaje, se aprecian variaciones significativas entre los resultados de consumo obtenidos por uno u otro en un mismo vehículo. Por otro lado, en uno de sus trabajos Luc Pelkmans ^[14] reporta diferencias en el consumo de combustible medido por diferentes ciclos (CBDC, DUBCD y De Linj) con relación a los valores reales en una ruta específica entre un 76 y un 103 %, con una influencia significativa de la aceleración positiva instantánea. En tal sentido, concluye también que la relación entre los ciclos reales y los simulados no es una línea recta y que difiere de tecnología en tecnología.

Se ha podido demostrar también, que no siempre la capacidad de aceleración del vehículo es capaz de vencer los requerimientos de un ciclo determinado.

Negreti ^[16], en el análisis del modelo ENEA, propone una velocidad promedio corregida, al determinar que los ciclos de viaje utilizados no reflejan realmente el comportamiento de un vehículo en la explotación, proponiendo la evaluación de tres ciclos diferentes: un ciclo real (considerado ideal), un ciclo reconstruido simplificado, y una aproximación intermedia entre estos dos, llamado velocidad corregida promedio, que incluye un factor de corrección debido a la congestión del tráfico.

1.6.2 Los Ciclos de Viaje en Cuba.

Por su parte en Cuba ^[17, 18], y en nuestra institución se han desarrollado varias investigaciones que han formulado un Ciclo de Movimiento Básico ^[15] y su Nueva Concepción ^[19] y tienen como objetivo la comparación de vehículos con fines de selección vehicular. Del Ciclo de Movimiento Básico, se han corrido algunos experimentos ^{[13] [20]}. En él, se definen las siguientes etapas de operación: 1-aceleración intensa hasta la velocidad de crucero con periodos de cambios de marcha, 2- tránsito en velocidad crucero, 3-periodo de frenado con el motor, 4-periodo de frenado intenso y ralentí. Es por eso, que existe la necesidad de validar los resultados de las nuevas modificaciones del Nuevo Ciclo Básico lo que dará lugar a nuevos experimentos del que este es uno de ellos.

1.6.3 El Ciclo de Movimiento Básico.

El Ciclo Básico estableció como sus características:

1. Período de impulso desde $V = 0$ hasta V_{estable} en marcha superior, con cambios de marcha a $\omega=0.85\omega_N$ y tiempo de cambio de 2 seg. (período de retardo de la velocidad) con máximo suministro de combustible (característica exterior de velocidad).
2. Período de velocidad estable de 80 km/h (puede definirse otra dependiendo del vehículo), mantenida durante un recorrido de 1000 m.
3. Período de frenado desde V_{estable} hasta $V = 0$, frenado con máxima intensidad.
4. Período de trabajo con motor en ralentí, duración de trabajo en ralentí 5% del tiempo total del ciclo.
5. Condiciones ambientales:
 - a) Temperatura promedio del aire 24,6 °C.
 - b) Humedad relativa 70 %.
 - c) Presión atmosférica: 101.2 kPa.
 - d) Velocidad del aire: 2.4 m / s.
 - e) Altura sobre el nivel del mar: 20 m.
6. Condiciones viales: Vía asfaltada, en buen estado, llana, sin curvas, seca: $f = 0.01$, $\mu = 0.8$.

En este modelo se determina:

3. Tiempo y espacio hasta V_{estable}
4. Caída de velocidad y espacio recorrido durante los cambios de marcha,
5. Espacio mínimo de frenado,
6. Consumo en el ciclo y en cada uno de los periodos,

7. $\frac{\int a dV}{\Delta V}$ Aceleración media,

8. Velocidad media del pistón para el ciclo de movimiento.

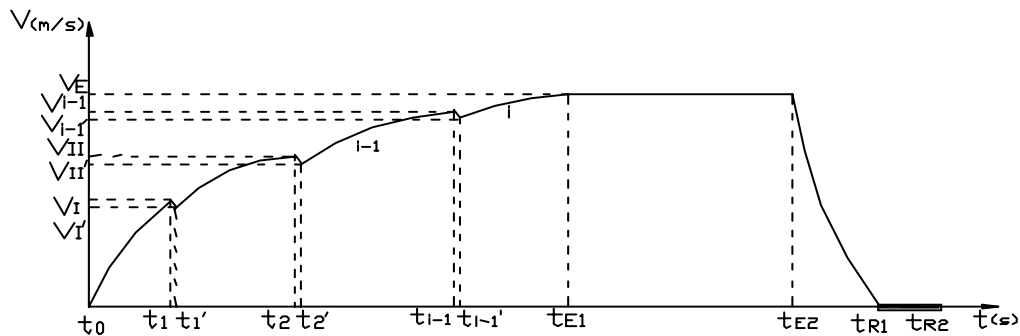


Figura 2.4 Ciclo de Movimiento Básico ^[15]

1.6.3 El Nuevo Ciclo de Movimiento Básico.

Después de investigaciones realizadas por el Grupo de Investigación del Transporte de la Universidad de Cienfuegos se aportaron nuevos criterios que se introducen para perfeccionar el Ciclo Básico, así como establecer los nuevos modelos que nos posibilitarán el cálculo del tiempo, el espacio recorrido y el consumo.

Las modificaciones que propuestas en el Ciclo Básico son las siguientes:

- 1) Se considera como inicio del ciclo, el momento en que el vehículo alcanza la velocidad mínima estable en primera marcha, es decir, se suprime la primera etapa de funcionamiento inestable, que va desde velocidad cero hasta la velocidad mínima estable.
- 2) Se modifica el 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, es empleado otro método, basado en el análisis dinámico, considerando el efecto de las pérdidas hidráulicas en la eficiencia.
- 4) El proceso de frenado se desarrolla en dos etapas: frenado con el motor hasta una determinada velocidad y frenado intenso con el motor desembragado.
- 5) Es introducido 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 introduce el concepto de eficiencia de la transmisión invertida durante el proceso de frenado.
- 7) Es empleado otro criterio para el cálculo del consumo en ralentí.

8) Se propone, 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 Ciclo Básico con las modificaciones perceptibles:

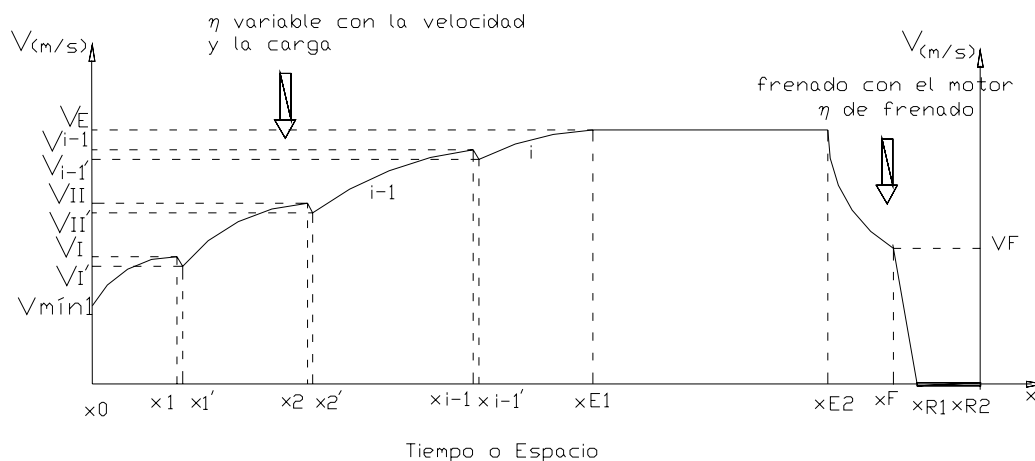


Figura 2.5 Nueva Concepción del Ciclo Básico. NCCB. ^[19]

Actualmente se desarrolla un software que integra todas las potencialidades que en el estudio de las cualidades dinámicas y de consumo que bajo los criterios del NCCB se pueden obtener.

1.7- Pruebas de los automóviles.

Las pruebas de los automóviles son muy variadas y se diferencian, tanto por el objetivo de ensayo como por su objetivo, forma de realización, etcétera.

Según el tipo de característica de explotación que se pretende determinar, se distinguen los siguientes tipos de pruebas:

- | | |
|-----------------------------------|---|
| a) Características tractiva. | i) Propiedades ergonómicas de la cabina o área de pasajeros. |
| b) Propiedades de frenado. | j) Fiabilidad (trabajo sin fallos, durabilidad, reparabilidad, solidez y otras cualidades). |
| c) Consumo de combustible. | k) Seguridad pasiva. |
| d) Toxicidad. | l) Capacidad de paso. |
| e) Estabilidad y dirección. | |
| f) Suavidad de marcha. | |
| g) De ruido (exterior e interior) | |
| h) Vibraciones. | |

Según los medios utilizados, condiciones y lugar de su ejecución, las pruebas se clasifican de la forma siguiente:

- A) De laboratorio.
- B) De polígono
- C) De camino (en camino de uso general.)
- D) De explotación

Finalmente y como grupo más general las pruebas se clasifican según su objetivo y considerando dentro de este grupo los siguientes tipos:

- a) Pruebas complementarias.
- b) Pruebas preliminares.
- c) De recepción
- d) De Producción.
- e) De Control.
- f) Evaluativos
- g) De durabilidad.
- h) De recepción y entrega.
- i) De atestación.
- J) De explotación
- k) De investigación.
- m) Especiales.

Las pruebas determinativas (y de evaluación) persiguen los siguientes objetivos:

- a) Determinación de los parámetros e índices de explotación del automóvil con determinada exactitud y confiabilidad. En el caso en que la determinación de los parámetros del automóvil no exige los valores de exactitud y confiabilidad estipulados, estas pruebas se denominan de evaluación.

Si en la tarea de un determinado ensayo, se contempla la obtención de los índices del automóvil de cualquiera de sus propiedades de explotación, dicha prueba se denomina igual que esa propiedad, por ejemplo, pruebas de propiedades tractivas, de toxicidad, capacidad de paso, etc.

Las pruebas de explotación persiguen los siguientes objetivos:

- a) Evaluación de la adecuación del vehículo a las condiciones y exigencias de explotación.
- b) Acopio de información acerca de la durabilidad del vehículo en condiciones de explotación.
- c) Precisar los indicadores de explotación y la tecnología de reparación.

Las pruebas de investigación, se realizan con el objetivo de estudiar los procesos de trabajo, que tienen lugar en los mecanismos del automóvil, la determinación de los parámetros que caracterizan la interacción del automóvil con el medio (por ejemplo, coeficiente de resistencia aerodinámica, resistencia a la rodadura, adherencia al pavimento, etc.). En este tipo de prueba, pueden incluirse ensayos profundos de las propiedades de explotación del automóvil, fenómenos vibratorios y acústicos, etcétera.

CONDICIONES GENERALES. ORDEN DE EJECUCION DE LAS PRUEBAS.

Condiciones Generales. Orden de ejecución de las Prueba.

Comúnmente las pruebas se desarrollan en el siguiente orden:

1. Recepción del automóvil.
2. Preparación del automóvil para pruebas.
3. Instalación de los instrumentos de medición.
4. Ejecución del programa de pruebas previsto o del recorrido establecido.

1.8 Conclusiones Parciales.

1. Los modelos matemáticos existentes, que vinculan la relación vehículo-vía-condiciones de explotación emplean las leyes de la física clásica, los últimos trabajos que en esta materia se han discutido en el grupo de investigación de Transporte Automotor de la institución están lo suficientemente actualizados con respecto a lo que se hace en el resto del mundo e incluso presentan novedad.
2. Los parámetros, las cualidades dinámicas y de consumo e indicadores que posibilitan en la actualidad valorar el trabajo de los vehículos de transmisión mecánica se construyen a partir del juego de datos dinámicos y de consumo que ofrecen los modelos matemáticos.
3. Cada diseño de un ciclo de viaje y los parámetros e indicadores que estos ofrecen, necesitan de un conjunto de experimentos vehiculares de banco y carretera para la validación de los modelos.

Capítulo II. Experimentos aplicados a vehículos ligeros de transmisión mecánica en condiciones de banco y carretera.

2.1 Introducción.

Se inicia el capítulo con las características generales de los experimentos que servirán en un futuro de base de comparación contra los resultados que ofrecen el software SECDC según la modelación matemática sustentada por el Ciclo Teórico de Movimiento Básico Modificado (Nueva Concepción del Ciclo Básico, NCCB). En cada prueba se destacan los aspectos: Descripción, Procedimientos, Datos obtenidos y Métodos teóricos que sustentan el modelo a comparar. Posteriormente se describen las pruebas de banco y carretera realizadas.

2.2 Características generales de los experimentos.

Las pruebas de banco se realizaron en el Taller del Poder Popular Provincial, y se estudiaron 5 vehículos ligeros de carburación. Las pruebas de carretera se efectuaron en el sector sur de la circunsvalación de la ciudad, en el tramo que va desde la carretera a Caunao hasta la curva del aeropuerto, el tramo es lo suficientemente recto y está en buen estado. Se seleccionó un mismo chofer para todas las pruebas de carretera, el vehículo empleado para las pruebas de carretera fue un LADA VAZ 2105.

Se diseñó un ciclo que contempla todas las etapas de trabajo del vehículo según el NCCB ^[19]. Se inicia la medición de las variables a partir de la velocidad mínima en movimiento estable en primera marcha 7 km/h (1,94 m/s), se transita en esta hasta alcanzar los 30 km/h (8,6 m/s) se realiza un nuevo cambio de marchas y se circula hasta los 52 km/h (14,44 m/s) donde se hace otro cambio hasta llegar a la velocidad de crucero de 80 km/h (22,22 m/s). Posteriormente se frena con el motor hasta los 52 km/h (14,44 m/s) y después se pasa a la detención total del vehículo con el frenado intenso.

La velocidad mínima en movimiento estable para primera marcha se calcula según el trabajo: “Definición de un criterio para la determinación de la velocidad mínima en movimiento estable”^[10]. Las velocidades de cambio de marcha, la caída de velocidad, la velocidad de frenado con el motor e intenso, según NCCB ^[19]. Ver tabla 2.1.

Cálculo de la V mín ^[8].

Se parte del mismo sistema de ecuaciones ^[8] y expresando la velocidad en función de la frecuencia de rotación se obtiene una ecuación del tipo:

$$a_2 \cdot \omega_{mín}^2 + b_2 \cdot \omega_{mín} + c_2 = 0; \quad (2.1)$$

$$\text{La cual se resuelve por la conocida expresión: } \omega_{mín} = \frac{-b_2 \pm \sqrt{b_2^2 - 4 \cdot a_2 \cdot c_2}}{2 \cdot a_2} \quad (2.2)$$

Donde:

$$a_2 = K \cdot F \cdot r_d^3 \cdot i_{cms}^3 + \frac{\chi \cdot M_{eN} \cdot c_3}{\omega_N^2}$$
$$b_2 = 9 \cdot 10^{-5} \cdot G \cdot r_d^2 \cdot i_{cms} - \frac{\chi \cdot M_{eN} \cdot c_2}{\omega_N}$$
$$c_2 = G \cdot (f + p) \cdot r_d \cdot i_{cms} - \chi \cdot M_{eN} \cdot c_1 + 2 \cdot 10^{-3} \cdot G \cdot r_d$$

Luego:

$$V_{mínI} = \omega_{mín} \cdot r_d \cdot i_{cI} \quad (2.3)$$

Cálculo de la Velocidad de cambio de marchas ^[19].

$$V_{ocm} = 1,06 \cdot \omega_M \cdot r_d \cdot i_{cx} \quad (2.4)$$

Cálculo de la Caída de Velocidad durante el cambio de marchas ^[19].

$$\Delta V = - \frac{(G \cdot (f_o + 7 \cdot 10^{-6} \cdot v_{cmi}^2) + (K_{am} \cdot F \cdot v_{cmi}^2) + ((2 + 0.009 \cdot v_{cmi}^2) \cdot G \cdot 10^{-3}))}{m \cdot \delta} \cdot \Delta t \quad (2.5)$$

Cálculo de la Velocidad donde comienza el Frenado Intenso ^[19].

$$v_F = 200 \cdot s^{-1} \cdot i_{cms} \cdot r_d \quad (2.6)$$

Tabla 2.1 Valores de velocidad (km/h) para las pruebas de carretera según ciclo NCCB.

	Vmín - Vi	Vi '- Vii	Vii '- VE	VE - Vf	Vf - 0
V inicial	7	29,9	51,8	80	52
V final	30	52	80	52	0

Por último se destaca que el ciclo se realiza conectando solamente tres marchas pues las potencialidades del vehículo permiten alcanzar la velocidad crucero de esta forma. Figura 2.1.

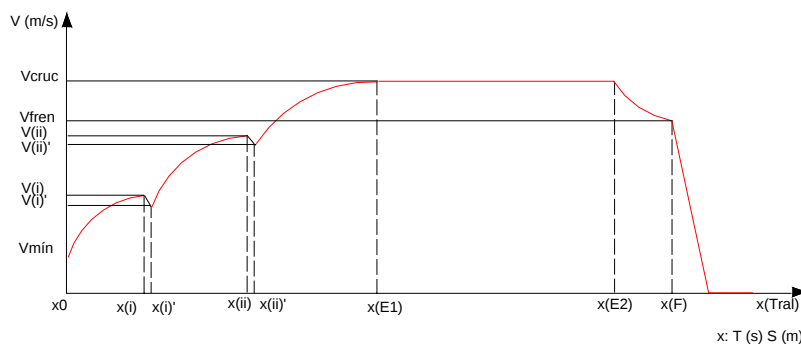


Fig. 2.1 Ciclo de Movimiento Básico según las modificaciones del NCCB para el VAZ 2105.

2.3 Prueba No.1 Medición del consumo de combustible en ralentí. (Prueba de banco)

2.3.1 Descripción de la prueba.

Según el tipo de característica de explotación que se pretende determinar:

- Consumo de combustible.

Según los medios utilizados, condiciones y lugar de su ejecución, la prueba se clasifica de la forma siguiente:

- De explotación

Clasificación según su objetivo:

- De investigación.

La prueba persigue los siguientes objetivos:

Las pruebas de investigación, se realizan con el objetivo de estudiar los procesos de trabajo, que tienen lugar en los mecanismos del automóvil, la determinación de los parámetros que caracterizan la interacción del automóvil con el medio.

Orden de ejecución de las pruebas.

Condiciones Generales. Orden de ejecución de la Prueba.

1. Recepción del automóvil.
2. Preparación del automóvil para pruebas.
3. Instalación de los instrumentos de medición.
4. Ejecución del programa de pruebas previsto.

2.3.2 Método de medición del consumo de combustible en ralentí.

Para determinar el consumo del motor se parte de medir el volumen de combustible consumido en el tiempo transcurrido para el régimen que se investiga. Se prefija la duración de la medición en 2 min, se empleará un cronometro mecánico.

En este caso, el resultado será en cm^3 o dm^3 en el intervalo medido. La medición se hará por el método volumétrico.

A continuación describiremos el método que emplearemos debido a la existencia del equipamiento necesario en nuestras instalaciones.

Procedimiento volumétrico:

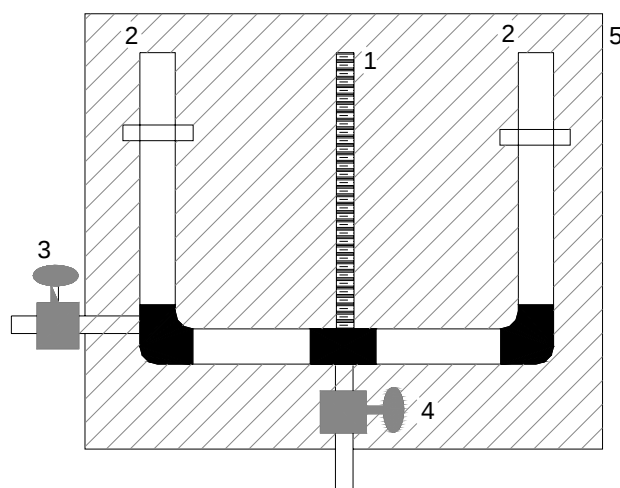


Fig. 2.2 Aparato para pruebas volumétricas.

En la figura a la izquierda se describe el aparato que se empleó para hacer las pruebas volumétricas. El tubo calibrado 1 indica las variaciones del volumen de combustible, los tubos 2 sirven para aumentar la capacidad de combustible durante la medición, la llave 3 permite la entrada de combustible al aparato desde

el tanque de combustible del vehículo y la 4 hacia la bomba de combustible. Por su parte el 5 es el cuadro que sostiene el aparato.

El procedimiento es el siguiente, cuando se conecta el aparato entre el tanque y la bomba de alimentación (primero se garantiza que los conductos desde la llave 4 hasta el carburador estén llenos) se llenan los vasos o tubos, y se entonces procede a cerrar la llave 3 y a abrir la 4, luego se arranca el motor en régimen de ralentí. En este momento se cronometra un minuto para que se estabilice el funcionamiento del motor y se lee el nivel de combustible en el vaso 1, se deja operar dos minutos más el automóvil y se corta el suministro de combustible por 4 y se toma la altura del combustible en el vaso para este valor final. El volumen de combustible consumido queda en función de la diferencia de altura pues los diámetros de los tubos son conocidos, luego se realizan otras corridas según se explica posteriormente. Para la próxima prueba o corrida, se vuelve a efectuar los pasos: arrancar el vehículo con la llave 3 cerrada, y después de un minuto tomar la lectura del nivel de combustible, pasados dos minutos cerrar la llave 4 y tomar la lectura final. Siempre se mantiene una cantidad de combustible en los vasos que posibilite realizar las pruebas.

El vaso 1 tiene un diámetro de 15,7 mm y los vasos 2 de 26 mm. Por lo que el volumen queda en función de:

$$V = \left[\pi(R_1^2 + 2 \cdot R_2^2) \right] \cdot h \quad \text{Como } h \text{ en cm. } V \text{ en cm}^3 \text{ (2.7)}$$
$$V = 12.5545 \cdot h$$

2.3.3 Población, muestra, número de experimentos.

- **Población:** es el conjunto completo de individuos, objetos o medidas, que poseen alguna característica común observable, la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación. Las poblaciones deben situarse claramente en torno a sus características de contenido, lugar y tiempo a fin conocer la magnitud de la investigación. La población será el conjunto de mediciones de consumo de combustible en vehículos ligeros de transmisión mecánica o clásica.

- **La muestra:** es una parte de la población, seleccionada según una política determinada, partiendo de la observación de una fracción de la población. Al seleccionar una muestra se hace necesario conocer el tamaño de la misma y la selección de los elementos muestrales. El tamaño de la muestra depende del error estándar con el que se desea trabajar, de la dispersión de los datos y del número de la población.

- **Tipo de muestra:**

Para la determinación de una muestra probabilística hay que tener en cuenta dos aspectos: determinar el tamaño de la muestra y seleccionar los elementos muestrales, que todos tengan la misma probabilidad de ser elegidos.

Determinación del tamaño de la muestra:

Como la varianza es conocida

El número de observaciones (tamaño de la muestra) queda definido por la siguiente expresión.

$$n = (t^2 \cdot v^2) / E^2$$

Donde:

n es el número de mediciones u observaciones.

t es coeficiente de significación, que depende de la probabilidad.

v es el coeficiente de variación.

E es el error, para investigaciones tecnológicas de usa un valor entre 3 al 5 %.

La confianza que se desea en la estimación del parámetro en estudio. El nivel de confianza más utilizado es de 95 % que significa una $t = 1,96$.

El coeficiente de variación (v) es la relación entre la varianza y la media muestral.

En nuestro caso se realizó una medición inicial para determinar la varianza y a partir de ahí determinar con cuantas repeticiones del experimento se podría hallar el valor de consumo de combustible en ralentí con determinado nivel de confianza.

Ejemplo:

n	c.c.	dm ³	Summary Statistics for cc (STATGRAPHIC 5.1)
1	36,40805	0,036408	Count = 8
2	32,6417	0,032642	Average = 32,7986
3	33,89715	0,033897	Variance = 3,79966
4	33,89715	0,033897	Standard deviation = 1,94927
5	31,38625	0,031386	Minimum = 30,1308
6	32,6417	0,032642	Maximum = 36,4081
7	31,38625	0,031386	Range = 6,27725
8	30,1308	0,030131	Std. skewness = 0,743698
			Std. kurtosis = 0,341677

Como se observa tanto la asimetría como la curtosis informan que el rango de valores analizados proviene de una distribución normal.

Número de observaciones:

$$n = \frac{t^2 \cdot v^2}{\varepsilon^2} = \frac{1.96^2 \cdot 1.949^2}{(0.05 \cdot 32.798)^2} = 5.12$$

Este cálculo determina que se ha de realizar al menos 5 corridas, lo ideal serían hacer más, no obstante por razones operativas propias de la base de transporte donde se realizarán convenimos hacer 5 para poder estudiar un mayor número de vehículos y no interrumpir las transportaciones.

2.3.4 Expresiones y teoría de cálculo del Consumo durante el ralentí, frenado intenso, frenado con el motor y durante el cambio de marchas. ^[19]

La expresión para la determinación del consumo en estos períodos es la misma, por cuanto en

todos, el motor trabaja en ralentí. El consumo específico es por tanto: $g_e = g_{eN} \cdot K_{\ddot{A}} \cdot K_n$. (2.8)

En ralentí la frecuencia de rotación es: $\omega_x = \omega_{al}$ y la potencia que se demanda en el motor (N_{mec}) es la que se pierde por fricción en los mecanismos:

$$N_{mec} = N_{roz} + N_{ma} + N_{gas} + N_{comp} \quad (2.9)$$

donde: N_{roz} -Potencia perdida por rozamiento entre partes conjugadas

N_{ma} -Potencia gastada en mecanismos auxiliares

N_{gas} -Potencia consumida durante el intercambio de gases

N_{comp} -Potencia gastada en el compresor

La potencia N_{mec} puede quedar también expresada a través de ^[24]:

$$N_{mec} = \frac{p_{me} \cdot V_h \cdot n}{300 \cdot \tau} \quad (2.10)$$

Donde: p_{me} - Presión media referida a las pérdidas mecánicas; bar

V_h -Cilindrada total; dm³

n -Frecuencia de rotación del cigüeñal; rpm

τ -Número de tiempos del motor

En cuanto al valor de p_{me} queda definido según la expresión experimental ^[24]:

Gasolina $p_{me} \approx 0.45 + 0.145 \cdot V_p$
 Diesel $p_{me} \approx 1.05 + (0.12 \div 0.138) \cdot V_n$

Pues, la velocidad media del pistón: $V_p = \frac{S \cdot n}{30}$, y S es la carrera del pistón (m). Así, estamos en condiciones de calcular los coeficientes KA y Kn, para luego determinar el consumo específico (ge).

En fin, el consumo en ralenti será: $q = g_e \cdot N_{nec} \cdot t_{ral}$ (kg). (2.11)

2.4 Prueba No.2 Medición del tiempo de cambio de marchas. (Prueba de carretera)

2.4.1 Descripción de la prueba.

Según el tipo de característica de explotación que se pretende determinar:

- Suavidad de marcha.

Según los medios utilizados, condiciones y lugar de su ejecución, la prueba se clasifica de la forma siguiente:

- De Camino

Clasificación según su objetivo:

Ídem a 2.2.1

La prueba persigue los siguientes objetivos:

Ídem a 2.2.1

Orden de ejecución de las pruebas.

Condiciones Generales. Orden de ejecución de la Prueba.

1. Recepción del automóvil.
2. Preparación del automóvil para pruebas.
3. Instalación de los instrumentos de medición.
4. Ejecución del programa de pruebas previsto en el camino.

2.4.2 Método de medición del tiempo de cambio de marchas.

Para determinar el tiempo durante el cambio de marchas se empleará un cronómetro electrónico.

La unidad de medida serán fracciones de segundo.

Procedimiento:

Se selecciona el vehículo que hará el resto de las pruebas vinculadas a la validación del Nuevo Ciclo de Movimiento Básico, se garantiza que el chofer sea el mismo que realizará las otras pruebas. Se coloca un copiloto al lado del conductor con el cronómetro, se selecciona una

travesía donde se conecten el mayor número de marchas posibles durante la aceleración y el frenado, se retornará por la misma vía y se computarán nuevos valores.

Se registra el tiempo y se analizan los resultados.

2.4.3 Población y número de experimentos.

- **Población:** La población será el conjunto de mediciones de tiempo de cambio de marchas del vehículo ligero de transmisión mecánica en estudio.

Determinación del tamaño de la muestra:

Como la varianza es conocida

$$n = (t^2 \cdot v^2) / E^2$$

Summary Statistics for Tcambio de marchas (STATGRAPHIC 5.1)

Count = 32

Average = 1,12062

Variance = 0,0353415

Standard deviation = 0,187993

Minimum = 0,9

Maximum = 1,5

Range = 0,6

Como se observa tanto la asimetría como la curtosis informan que el rango de valores analizados no proviene de una distribución normal, no obstante para este tipo de estudio no es impedimento.

Número de observaciones:

$$n = \frac{t^2 \cdot v^2}{\varepsilon^2} = \frac{1.96^2 \cdot 0.0353415^2}{(0.05 \cdot 1.121)^2} = 2$$

Este cálculo determina que se ha de realizar al menos 2 observaciones, en realidad se hacen más.

Por tanto presentamos la tabla de valores.

Tabla 2.2. Medición de los tiempos de cambio de marchas.

Cambio de Marcha	Tiempo(s)	Cambio de Marcha	Tiempo (s)
IDA		REGRESO	
Neutral – 1ra	0,9	Neutral – 1ra	1
1ra – 2da	1,1	1ra – 2da	1,06
2da – 3ra	1,5	2da – 3ra	1,5
3ra – 4ta	1,3	3ra – 4ta	1,1
4ta – 3ra	1	4ta – 3ra	1,2
3ra – 2da	1,2	3ra – 2da	1,01
1ra – 2da	1	2da – 1ra	1
2da – 3ra	1,5	1ra – Neutral	0,97
3ra – 4ta	0,9	Neutral – 1ra	0,98
4ta – 3ra	1,01	1ra – 2da	1
3ra – Neutral	1	2da – 3ra	1,5
Neutral – 4ta	1,04	3ra – 4ta	1,2
4ta – 3ra	1,2	4ta – 3ra	1,3
3ra – 2da	1,1	3ra – 2da	1,4
2da – 1ra	0,98	2da – 1ra	1
1ra – Neutral	0,95	1ra – Neutral	0,96

Se asume como tiempo de cambio de marchas 1 seg.

2.5 Prueba No.3 Medición del consumo durante la aceleración del vehículo. (Prueba de carretera)

2.5.1 Descripción de la prueba.

Según el tipo de característica de explotación que se pretende determinar:

- Ídem a 2.2.1.

Según los medios utilizados, condiciones y lugar de su ejecución, la prueba se clasifican de la forma siguiente:

- Ídem a 2.2.1

Clasificación según su objetivo:

- Ídem a 2.2.1

La prueba persigue los siguientes objetivos:

Ídem a 2.2.1

Orden de ejecución de las pruebas.

Condiciones Generales. Orden de ejecución de la Prueba.

Ídem a 2.2.1

2.5.2 Métodos de medición del consumo de combustible durante la aceleración.

Para determinar el consumo del motor se parte de medir el volumen de combustible consumido en el tiempo transcurrido para el régimen que se investiga. La duración de la medición dependerá de las características del vehículo, el medio y el conductor, se empleará un cronometro mecánico. En este caso, el resultado será en cm^3 o dm^3 en el intervalo medido. La medición se hará por el método volumétrico.

A continuación describiremos el procedimiento:

Procedimiento:

Se emplea el mismo el aparato que se empleó para hacer las pruebas volumétricas (ver figura 2.2). El procedimiento es el siguiente, se conecta el aparato entre el tanque y la bomba de alimentación (primero se garantiza que los conductos desde la llave 4 hasta el carburador estén llenos) se llenan los vasos o tubos, y se entonces procede a cerrar la llave 3 y a abrir la 4, luego se pone en funcionamiento el vehículo. Cuando el vehículo alcanza la velocidad de movimiento estable mínima en primera marcha (se corrobora por el tacómetro y el velocímetro) se lee la altura del vaso calibrado 1, se mantiene conectado hasta que el automóvil alcanza la velocidad para cambio de marchas de 1^{ra} a 2^{da} y se toma la altura del combustible en el vaso para este valor.

Para el tránsito en las dos marchas siguientes se sigue el mismo procedimiento de la marcha anteriormente descrita. Cuando se alcanza la velocidad de crucero termina la medición del consumo. Se procede al frenado del vehículo y se repite de nuevo el procedimiento poniendo en marcha el auto nuevamente. El volumen de combustible consumido siempre queda en función de la diferencia de altura pues los diámetros de los tubos son conocidos, luego se realizan otras corridas según se explica anteriormente. Siempre se mantiene una cantidad de combustible en los vasos que posibilite realizar las pruebas.

2.5.3 Población, muestra, número de experimentos.

- **Población:** La población será el conjunto de mediciones de tiempo de cambio de marchas del vehículo ligero de transmisión mecánica en estudio para un chofer en particular.

En este caso, se realizaron solo 5 pruebas de carretera debido a la dificultad que existe con los recursos. La disponibilidad del vehículo era un impedimento y no hubo asignación de combustible.

2.5.4 Expresiones y teoría de cálculo del Consumo durante la aceleración ^[19].

La ecuación de gasto horario es: $G_t = g_e \cdot N_{ex} = g_e \cdot P_{tx} \cdot v / 10^3 \cdot \eta_o$; g/h (2.12)

El consumo horario queda en función de la velocidad en el instante analizado. Como quiera que la velocidad cambie con el tiempo, al final obtenemos un juego de datos de velocidad y consumo horario respecto al tiempo. Para poder determinar el consumo en el intervalo se emplea la siguiente solución (reducida a propósito para cinco valores, para mejor definición empléense al menos diez):

1. Se evalúa la expresión 2.12 para los diferentes valores de velocidad y se construye una tabla con el juego de datos: v vs. Gt
2. Se incorpora otra columna con el tiempo que se corresponde con la velocidad analizada, según los datos de las expresiones obtenidas para el Ciclo de Movimiento Básico.
3. Por último, se emplea un método de integración numérica para determinar el área bajo la curva de t vs. Gt, que no es más que la masa de combustible consumida en este intervalo, que toma en consideración la marcha conectada.

Ejemplo:

v_x	Gt_x	t_x
v_a	Gt_a	t_a
v_b	Gt_b	t_b
v_c	Gt_c	t_c
v_d	Gt_d	t_d
v_e	Gt_e	t_e

Aplicando el método de los trapecios:

$$\int_a^e G_t \cdot dt \cong \frac{h}{2} \cdot (G_{ta} + 2 \cdot G_{tb} + 2 \cdot G_{tc} + 2 \cdot G_{td} + G_{te}) = G \text{ (kg)}$$

$$h = \frac{t_e - t_a}{n}$$

G no es más que el área bajo la curva, según se muestra en la figura 2.3. Luego para obtener el equivalente de la masa de combustible en litros para el período: $q = \frac{G}{\rho}$.

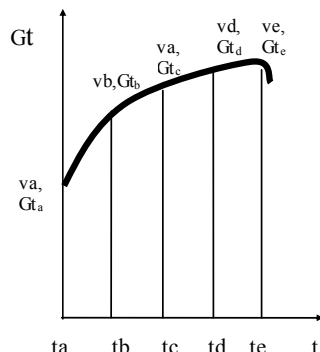


Fig. 2.3 Gasto horario en un intervalo de movimiento acelerado.

2.6 Prueba No.4 Medición del tiempo y el espacio recorrido en los periodos de aceleración y frenado. (Prueba de carretera)

2.6.1 Descripción de la prueba.

Según el tipo de característica de explotación que se pretende determinar:

- Tractiva y frenado.

Según los medios utilizados, condiciones y lugar de su ejecución, la prueba se clasifica de la forma siguiente:

- De explotación

Clasificación según su objetivo:

- De investigación.

Orden de ejecución de las pruebas.

Condiciones Generales. Orden de ejecución de la Prueba.

Ídem a 2.2.1

2.6.2 Métodos de medición del tiempo transcurrido y espacio recorrido durante la aceleración y el frenado.

Inicialmente se concibió el empleo de un GPS para las mediciones de espacio y tiempo, pero la precisión del modelo disponible no era la necesaria.

Procedimiento:

Se emplea un cronómetro mecánico y una cinta métrica. Se pone en funcionamiento el vehículo, cuando este alcanza la velocidad de movimiento estable mínima en primera marcha (se corrobora por el tacómetro y el velocímetro) se activa el cronometro y se lanza perpendicularmente a la carretera una bolsita de óxido de calcio en polvo, se mantiene conectado hasta que el automóvil alcanza la velocidad para cambio de marchas de 1^{ra} a 2^{da} y se toma la lectura del tiempo y se

lanza otra bolsita al pavimento. Para el tránsito en las dos marchas siguientes se sigue el mismo procedimiento de la marcha anteriormente descrita. Cuando se alcanza la velocidad de crucero se lee nuevamente el tiempo y se lanza otra bolsita. En estas etapas se realiza al unísono la medición de combustible de la prueba No. 3

Las pruebas de frenado del vehículo se realizan si el aparato para medir el consumo. Se acelera el vehículo hasta la velocidad de crucero, inmediatamente después de haber alcanzado esta velocidad: se activa el cronómetro y se lanza una bolsita del compuesto de cal, se frena con el motor con la marcha superior conectada y cuando se llega a la velocidad prevista se toma la lectura del tiempo y se lanza otra bolsita. Luego se pasa al frenado intenso cuando se detiene el vehículo se marca el lugar y se lee el tiempo. Se efectúan nuevas corridas.

Para ambos casos el espacio recorrido se determina midiendo la distancia entre las marcas que dejaron las bolsas en el pavimento.

2.6.3 Población, muestra, número de experimentos.

- **Población:** Habrá dos poblaciones que se estudiarán por separado: una será el tiempo de tránsito del vehículo ligero de transmisión mecánica en las etapas de aceleración y frenado para un chofer en particular, la otra es bajo las mismas condiciones para el espacio recorrido.

En este caso, se realizaron solo 5 pruebas de carretera debido a la dificultad que existe con los recursos. La disponibilidad del vehículo era un impedimento y no hubo asignación de combustible.

2.6.4 Expresiones y teoría de cálculo del tiempo y espacio durante la aceleración y el frenado ^[19].

Tiempo transcurrido durante el impulso:

Partiendo de la ecuación general del movimiento, y atendiendo a las particularidades del ciclo básico: vías sin pendientes, ni curvas y vehículo sin remolque, podemos plantear:

$$\delta \cdot m \cdot \frac{dv}{dt} = P_t - (P_a + P_r) \quad (2.13)$$

$$\Delta t = \int \frac{\delta \cdot m}{P_t - (P_a + P_r)} dv$$

Para cada marcha los intervalos de integración dependen de los valores estimados según la figura 2.3 (que describe el experimento)

Tiempo durante el frenado con el motor:

Partiendo del análisis del trabajo NCCB ^[19] y despejando en función del tiempo se encuentra:

$$t_F - t_{E2} = \int_{V_F}^{V_e} \frac{\delta_F \cdot dv}{g \cdot \left[\frac{\left(\frac{V_h \cdot a_M - b_M}{r_d \cdot ic_{ms} \cdot \eta_{inv}} \right) + P_a}{G} + \psi \right]}$$

Tiempo durante el frenado intenso:

Al igual que en el Ciclo Básico original, se considera una eficiencia de frenaje (η_f) de 100 %, o

$$\text{sea: } \eta_f = \frac{a_j}{\varphi \cdot g} = 1 \quad (2.14)$$

Por tanto: $a_j = \varphi \cdot g = cte$. En tales circunstancias el tiempo de frenado intenso es: $\Delta t = \frac{V_F}{a_j}$,

por cuanto la velocidad final es cero. En el epígrafe 2.31, habíamos hecho referencia al criterio de Ilarionov de que, el frenado con el motor es adecuado realizarlo hasta unas 200-400 s⁻¹. Por tal motivo, asumiremos que v_F se determinará en cada marcha para una frecuencia de rotación de 200 s⁻¹.

$$\text{y el tiempo de frenado es por lo tanto: } t_{R1} - t_F = \frac{200 \cdot s^{-1} \cdot ic_{ms} \cdot r_d}{\varphi \cdot g} \quad (2.15)$$

Espacio recorrido durante el impulso:

De igual forma que lo que sucede con el tiempo, para el espacio los límites de integración para un vehículo de n marchas, por ejemplo, serían idénticos que los expresados anteriormente. Partiendo de la expresión 2.13, se multiplican ambos miembros por $\frac{ds}{dv}$ y haciendo las transformaciones necesarias, se llega a una expresión tipo:

$$\begin{aligned} \delta \cdot m \cdot v \cdot \frac{dv}{dt} &= P_t - (P_a + P_r) \\ \Delta t &= \int \frac{\delta \cdot m \cdot v}{P_t - (P_a + P_r)} dv \end{aligned} \quad (2.16)$$

Espacio recorrido durante el frenado con el motor:

Entre los límites que van desde la velocidad en movimiento estable y la correspondiente al fin de la etapa de frenado con el motor, es computado el espacio según:

$$s_F - s_{E2} = \int_{V_F}^{V_e} \frac{v \cdot \delta_F \cdot dv}{g \cdot \left[\frac{\left(\frac{V_h \cdot a_M - b_M}{rd \cdot ic_{ms} \cdot \eta_{inv}} \right) + P_a}{G} + \psi \right]} \quad (2.17)$$

Espacio recorrido durante el frenado intenso:

El espacio mínimo de frenado ($S_{\min}$), se puede obtener mediante la suma de las fuerzas que actúan sobre el vehículo en la condición de frenado, esta puede calcularse según Wong ^[22] como:

$$S_f = \frac{G}{2 \cdot g \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot c_D \cdot A_f} \cdot \ln \left[1 + \frac{P_a \cdot 200^{-s} \cdot rd \cdot ic_{ms}}{\phi \cdot G + P_r} \right] \quad (2.18)$$

2.7 Conclusiones parciales.

1. Los experimentos tuvieron como característica general, que fueron previstos para estudiar las cualidades dinámicas y de consumo de los vehículos ligeros de transmisión mecánica bajo el NCCB. Ellos se componen de una prueba de banco y tres pruebas de carretera que estudian todas las etapas de trabajo del vehículo en el ciclo a excepción del tránsito a velocidad crucero, debido a que la modelación de este régimen es el menos complicado y uno de los más estudiados.
2. Se estudió el consumo de combustible en ralentí en cinco vehículos ligeros de carburación y transmisión mecánica.
3. Se realizó el estudio de una prueba de carretera en la que se determino el tiempo para cambio de marchas para un chofer individual en un vehiculo particular modelo VAZ 2105.
4. Se rediseñó un aparato para medir el combustible por el método volumétrico.
5. Se realizó la medición del consumo durante la aceleración del vehículo para tres etapas de aceleración partiendo de la velocidad mínima en movimiento estable hasta llegar a la de crucero.
6. Fueron medidos los tiempos y el espacio recorrido en los periodos de aceleración y frenado según el procedimiento previsto para el experimento.

Capítulo III. Análisis y tratamiento de los resultados.

3.1 Análisis del consumo de combustible en ralentí.

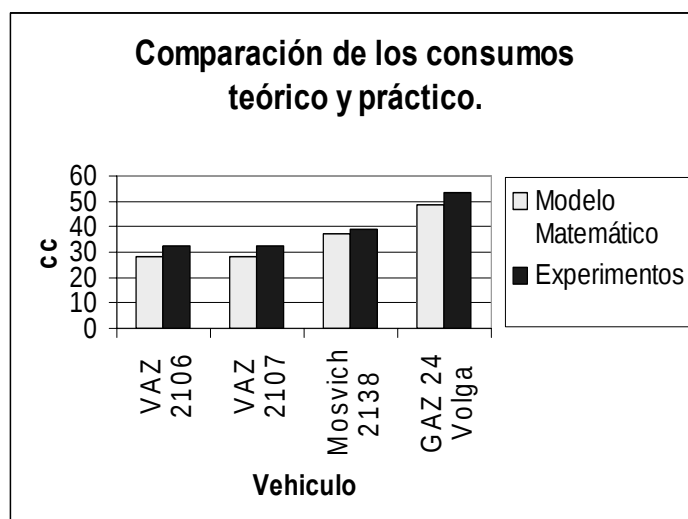
Análisis de los resultados.

Como se había explicado en 2.3 se había estudiado el consumo de ralentí de 5 vehículos ligeros. Los modelos escogidos VAZ 2106, VAZ 2107, Mosvich 2138, GAZ 24 Volga y Daewoo Tico, no obstante este último fue desechado debido a que los resultados de la medición fueron alterados por la complejidad del sistema de suministro de combustible del automóvil que tenía diversos conductos de retorno y al no poder controlar estas cantidades de combustibles se determinó emplear los resultados de los cuatro vehículos restantes, como a continuación refiere la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Tabla de valores de consumo en ralentí según modelo empleado en NCCB [19] y los medidos en las pruebas de banco.

	VAZ 2106	VAZ 2107	Mosvich 2138	GAZ 24 Volga
Modelo Mat.	27,97	27,97	36,98	48,62
Medición	32,65	32,65	39,26	53,48

Del mismo modo los resultados de la tabla 3.1 pueden graficarse y obtenerse la figura 3.1.



De la figura 3.1 se evidencia:

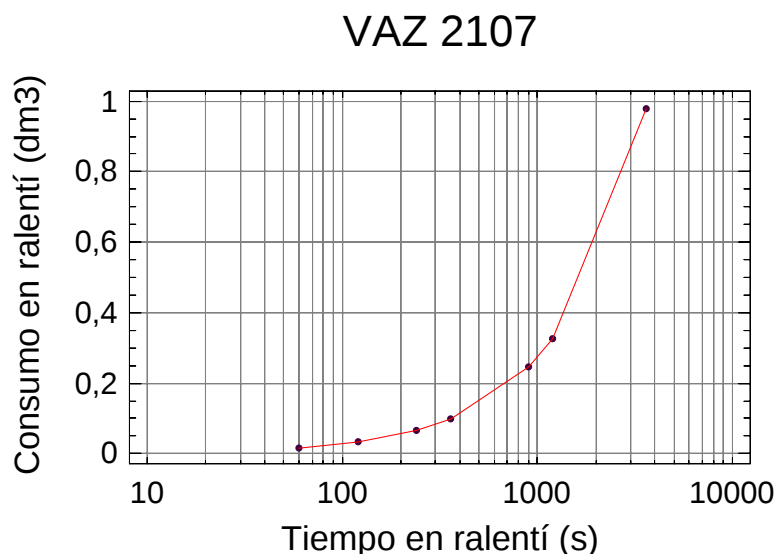
1. Existe un error pequeño ($< 10\%$) entre los valores teóricos y los prácticos.
2. El valor práctico siempre será mayor debido al grado de deterioro de los vehículos estudiados.

Fig. 3.1 Comparación entre las pruebas efectuadas y el modelo matemático propuesto por Jovaj [12].

Una vez comparadas ambas formas de determinar el consumo en ralentí, es posible y preferible seguir empleando el método analítico de determinación del consumo de combustible pues

ocasiona los menores gastos de recursos y tiene una precisión aceptable. Entonces pasamos a analizar el consumo del vehículo en este régimen respecto al tiempo de trabajo en él.

Otra inferencia que se obtiene a priori, y que tiene relación con la política de la conducción técnica económica es el papel de la operación bajo el régimen de ralentí en el aprovechamiento de la energía en el automóvil. Obsérvese la figura 3.2.



En la figura se muestra el consumo acumulado en ralentí para el LADA 2107, nótese que a los 900 seg se ha gastado $\frac{1}{4}$ de litro y cercano a la hora de trabajo, se gasta casi un litro de combustible, esta energía es permite recorrer 13km a una velocidad de 95km/h a plena capacidad de carga.

Fig. 3.2 Consumo acumulado de combustible en ralentí para el tiempo de trabajo en ese régimen (según modelo matemático).

3.2 Análisis del tiempo de cambio de marchas.

En 2.4 se calculaba el valor promedio de 1,12062 seg y la desviación típica de 0,1879 seg, estos valores para el chofer que realizó las pruebas de carretera y el vehículo correspondiente. Aunque la distribución que caracteriza estos datos no es la distribución normal podemos considerar el tiempo de cambio de marchas en 1 seg. Sería interesante en un futuro hacer estudios más profundos acerca de los tiempos de cambio de marcha, para los cuales proponemos estudiar un mayor número de vehículos y chóferes, en este caso si habría que tomar en cuenta la distribución de la muestra pues son imprescindibles para realizar técnicas de análisis estadístico más profundas, pero ahora estas intenciones se alejan de los propósitos de este trabajo.

Se refiere que en el estilo de conducción y en el vínculo con el vehículo el chofer estudiado cuando cambia la marcha de neutral a otra combinación demora un promedio de 0,975 seg, cuando lo hace entre 1ra y 2da demora 1,02 seg; entre 2da y 3ra lo hace en 1,33 seg y entre 3ra y 4ta en 1,13 seg.

3.3 Análisis del consumo durante la aceleración del vehículo.

Como se explicó en NCCB [19] el consumo durante la aceleración del vehículo tiene gran trascendencia, pues entre otros de aquí se obtiene el indicador “Coeficiente de Efectividad del Trabajo del Automóvil” (CETA) que caracteriza el grado de aprovechamiento de la energía química del combustible para llevar la carga útil desde la velocidad mínima en movimiento estable hasta la velocidad de crucero. Es por eso que fue necesario realizar la prueba correspondiente al estudio de este consumo.

En la figura 3.3 se muestran los resultados para las 5 corridas o experimentos de consumo medidos en carretera según se explicó en 2.2 y 2.5. De aquí se estable el valor promedio de consumo en 145,55 cc o sea 0,145 dm³, con una desviación de 12,08 cc y con una distribución del consumo en impulso que tiende a ser mayor que el valor de la media en la mayoría de los experimentos. Este valor promedio, no es desacertado de los reportes reales, puede ser empleado para la comparación como una primera aproximación. No obstante, para estudios más profundos deberá comprobarse el estado de los calibres del carburador y emplear un mayor número de vehículos, deben estar en buen estado técnico, y tener la menor cantidad de modificaciones posibles y sobre todo que estén poco explotados. Asimismo, se deberá garantizar que el motor trabaje a máximo suministro de combustible en este régimen.

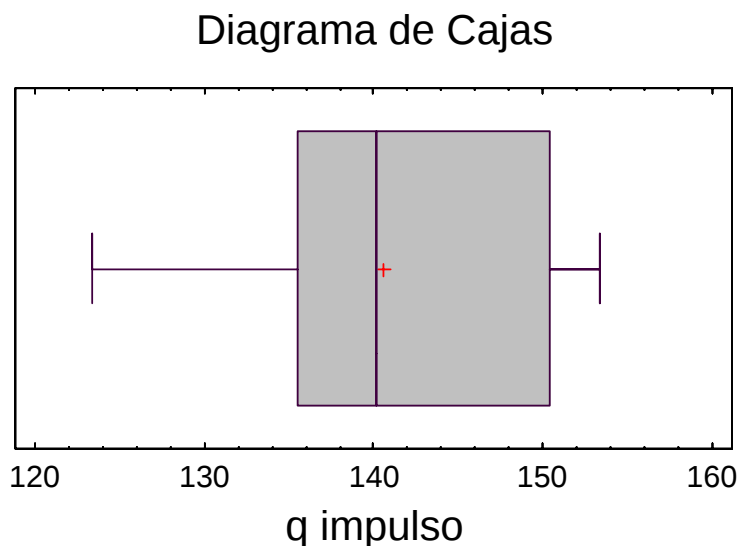


Fig. 3.3 Diagrama de cajas para el consumo durante el impulso.

3.4 Análisis del tiempo transcurrido y el espacio recorrido durante la aceleración y el frenado.

En 2.2 se explicó el diseño del ciclo de viaje a estudiar, en específico, la figura 2.1 proyecta el perfil de velocidades para el Lada VAZ 2105 según NCCB, los límites de operación según etapas se corresponden con las filas 1, 2, 3, 4 y 5 de la tabla 3.2. Para las 5 corridas efectuadas se presentan los valores de las medias del tiempo y el espacio, en las columnas 2 y 3, de estas se obtienen los valores de velocidad media y aceleración, columnas 4 y 5 de la tabla 3.2.

Tabla. 3.2 Resultados de la velocidad media y aceleración media del VAZ 2105, según los valores promedios del tiempo transcurrido y el espacio recorrido en NCCB.

Rango de velocidad (km/h)	Tiempo (s)	Espacio (m)	Veloc. Media (m/s)	Aceleración media. (m/s ²)
7-30	7	36	5.143	0.735
29.9-52	22	100	4.545	0.207
51.8-80	31	290	9.355	0.302
80-52	14	180	12.857	0.408
52-0	4	30	7.5	1.875

Los resultados de la aceleración y velocidad media para cada una de las etapas de trabajo del VAZ 2105 según la NCCB guardan correspondencia con los valores esperados y reportados para condiciones de operación similares. Es evidente que la mayor aceleración del vehículo ocurre en 1ra marcha, así como la mayor deceleración ocurre durante el frenado intenso. El hecho de que aceleración media en la 3ra marcha sea ligeramente mayor que en la 2da marcha se debe al diseño del ciclo de viaje, pues con otro criterio de cambio de marcha los valores de la aceleración serían distintos. Este grupo de resultados sigue una conducta coherente por tanto ha de tomarse en cuenta cuando se valla a comparar con los resultados que ofrecerá el software SECDC, pero al igual que en el análisis anterior, la sugerencia de realizar un estudio más exhaustivo con un mayor número de corridas y vehículos es algo que no se debe descartar.

3.5 Conclusiones parciales.

1. El gasto de combustible durante el trabajo en ralentí guarda correspondencia con los valores reportados en la bibliografía y con los del modelo matemático empleado en NCCB pues difiere en menos de un 10%. Las diferencias son explicables por el estado técnico de los vehículos, que por supuesto motivan que los valores resultantes en las pruebas de banco sean mayores que los que ofrece el modelo. Es posible y preferible emplear el método analítico de determinación del consumo de combustible en ralentí pues ocasiona los menores gastos de recursos y tiene una precisión aceptable.
2. Este trabajo demuestra que la operación del vehículo por un tiempo elevado en ralentí es poco económico, pues aparte de las dificultades mecánicas que implica para el motor y sus agregados es inaceptable desde el punto de vista del aprovechamiento de la energía del combustible.
3. El resultado de los valores medidos para el tiempo de cambio de marcha se encuentra dentro de los valores reportados en la literatura, y podría ser un criterio a tomar en cuenta para determinar la pericia del conductor y el estado técnico del sistema de transmisión del vehículo..
4. Los reportes de consumo durante el periodo de aceleración del vehículo no ofrecen diferencias notables contra los valores esperados y reportados. Sus valores están marcados por las exigencias del ciclo de viaje estudiado NCCB pues obligan al motor a trabajar a máximo suministro de combustible.
5. Los resultados de la aceleración y velocidad media para cada una de las etapas de trabajo del VAZ 2105 según la NCCB guardan correspondencia con los valores esperados y reportados para condiciones de operación similares y se evidencia la conducta dinámica del vehículo según las diversas etapas de trabajo.

Conclusiones.

1. Como se evidencia en el primer capítulo, los modelos matemáticos que vinculan la relación vehículo-vía-condiciones de explotación emplean las leyes de la física clásica, así los últimos trabajos que en esta materia se han discutido en el grupo de investigación de Transporte Automotor de la institución están lo suficientemente actualizados con respecto a lo que se hace en el resto del mundo e incluso presentan novedad. Cada uno de estos diseños o mejora de un ciclo de viaje necesita de un conjunto de experimentos vehiculares de banco y carretera para la validación de los modelos que lo sustentan.
2. Los experimentos que se realizaron como parte de este trabajo tuvieron como característica general, que fueron previstos para estudiar las cualidades dinámicas y de consumo de los vehículos ligeros de transmisión mecánica bajo el NCCB. Ellos se componen de una prueba de banco y tres pruebas de carretera que estudian todas las etapas de trabajo del vehículo en el ciclo a excepción del tránsito a velocidad crucero, debido a que la modelación del trabajo en movimiento estable a alta velocidad es menos complicado y es muy estudiados por los investigadores.
3. Para efectuar el conjunto de experimentos fue necesario: rediseñar un aparato de medición de consumo por el método volumétrico, elegir una pista de pruebas de carretera y entrenar a un chofer para la conducción bajo las etapas del NCCB.
4. El gasto de combustible durante el trabajo en ralentí guarda correspondencia con los valores reportados en la bibliografía y con los del modelo matemático empleado en NCCB pues difiere en menos de un 10%. Las diferencias son explicables por el estado técnico de los vehículos, que por supuesto motivan que los valores resultantes en las pruebas de banco sean mayores que los que ofrece el modelo. Es posible y preferible emplear el método analítico de determinación del consumo de combustible en ralentí pues ocasiona los menores gastos de recursos y tiene una precisión aceptable.
5. Los resultados obtenidos en el resto de las pruebas guardan correspondencia con los valores esperados y reportados para condiciones de operación similares y se evidencia la conducta dinámica del vehículo según las diversas etapas de trabajo según otros investigadores. Se puede anticipar aún sin conocer todos los resultados que ofrece el software SECDC, que en las pruebas a tiempo real había coherencia en los resultados que ofrecían los experimentos en la determinación de cualidades dinámicas y de consumo.

Recomendaciones.

1. En próximas investigaciones se recomienda profundizar en los tiempos de cambio de marcha, para los cuales proponemos estudiar un mayor número de vehículos y chóferes.
2. Una mayor cantidad de datos a manejar dará nuevos criterios por los que se necesita del empleo de un GPS para las mediciones de espacio y tiempo y un flujometro digital para las mediciones de consumo.

Referencias bibliográficas.

1. Aragón Marrero, R. Metodología de evaluación técnica de oferta de automóviles de carga./ Rigoberto Aragón Marrero, Dr. Francisco Benítez Cárdenas , tutor.-- Tesis de Doctorado. ISPJAE (H),1988.—104h.
2. Armstrong, B.D. The influences of Cool Engines on Car Fuel Consumption. Dept. Of the Environment, Transport and Road Research Laboratory Supplementary Report.(E:U) (V):1, 1983.
3. Bosh. Manual de la técnica del automóvil / Bosh.--Barcelona :Editorial Reverté, S.A, 1999.--893p.
4. Bus fleet Emission evaluation. Annual Report—Finlandia:[s.n], 2004.—578p.
5. Cao Mones, E. Conducción técnico-económica / Ernesto Cao Mones ,José R. Fuentes Vega, tutor.—Trabajo de Diploma. UCF (Cf), 2001.-- 102p.
6. Castro Ruz, F. La entrega de 101 vehículos a la Unión Eléctrica, efectuado en la Unión Eléctrica Nacional. Granma (La Habana) 5 de mayo de 2006: 3-4
7. Chudakov, D.A. Fundamentos de la teoría y el cálculo de tractores y automóviles / D. A. Chudakov. - - Moscú: Editorial MIR, 1977.-- 431p.
8. Fuentes Vega, J. Selección, Evaluación y Renovación del Parque Vehicular / José Ramón Fuentes Vega...—Cienfuegos: Editorial Ucf, 2002.—190 p.
9. Centro de estudio de energia y medio ambiente. 4to taller caribeno de energia y medio ambiente,Cienfuegos,2006. Definición de un criterio para la determinación de la velocidad minima/ CEEMA.—Cienfuegos: CEEMA, 2006.--1 0p.
10. 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.
11. Ilarionov, V. A. Teoría y Construcción de Automóviles / V. A. Ilarionov, M. Morín.-- Moscú: Editorial Construcción de Maquinarias, 1985.—241p.
12. Jóvaj, M. S. Motores de automóvil / M. S. Jóvaj.--Moscú: Editorial MIR, 1978.-- 655p.
13. López Albelo, Boris: Sánchez Rivalta, Pavel. Caracterización de las Principales Vías de la Provincia de Cienfuegos. Boris López Álbelo; Pavel Sánchez Rivalta: Victor Millo Carmenate, tutor.-- UCF (Cf),2003 –132h.

14. Luc Pelkmans. Influence of Vehicle Test Cycle Characteristics on Fuel Consumption and Emissions of City Buses/Luc Pelkmans, Keukeleere Dirk De.--Estados Unidos: SAE , 2001.—308 p.
15. Millo Carmenate, V.. Criterios para la comparación y/o evaluación de camiones Diesel/ Víctor Millo Carmenate; Dr José Ramón Fuentes Vega, tutor.-- Tesis de Doctorado. UCF (Cf), 2004.—100h.
16. Negreti, Emanuele The Corrected Average Speed Approach in Eneaste Model; An Innovative Solution for the Evaluation of the Energetic and Environmental Impacts of Urban Transport Policies./ Emanuele Negreti.—Italia: Highway and Urban Pollution Int Symposium. Baveno, Mayo, 1998.—12p.
17. Pérez Alcové, Ignacio. Coeficientes de evaluación de automóviles. Transporte y vías de comunicación (La Habana), 51-55, Julio, 1978.
18. Pérez Alcové, Ignacio. Metodología para la determinación del consumo de combustible en diferentes ciclos de movimiento. Informe final de investigación,/Ignacio Pérez Alcové.—La Habana: ISPJAE, 1984.—14 p.
19. Pérez Gálvez, R. La nueva concepción del ciclo de movimiento básico e indicadores dinámicos y de consumo./R: Pérez Gálvez; José R. Fuentes Vega., tutor.—Tesis de Maestría UCF (Cf), 2005.—91 h.
20. Ramos Jorge Luis. Evaluación de indicadores de consumo y de la dinámica en las vías de la provincia de Granma./Jorge Luis Ramos; Víctor Millo Carmenate, tutor.--Tesis en opción al grado científico de Master En Ciencias Técnicas. Ucf (Cf), Dic 2003.-- 102 h.
21. Reyes, José Luis. Teoría de los Motores de Combustión Interna / José Luis Reyes, Ramón Choy Pérez - - Cuba: Editorial Pueblo y Educación, 1985, -- 407p.
22. Szczepaniak, Cezary. Teoría del automóvil / Cezary Szczepaniak, Rigoberto Aragón. - - Habana: Editorial ISPJAE, 1974.-- 240p.
23. Wong, J Y. Theory of Ground Vehicles. / J. Y. Wong.--[s.l.]:[s.n.], 2001.--528p.

Bibliografía.

- Aragón Marrero, R. Comprobación del método teórico cálculo de para el la característica exterior de velocidad de los motores de combustión interna: Informe final de investigación./R. Aragón.-- La Habana ISPJAE, 1984.-- [s.p.]
- Aragón Marrero, R. Indicador de evaluación de consumo de combustible: Informe final de investigación/ ISPJAE,--La Habana: ISPJAE, 1986.-- [s.p.]
- Aragón Marrero, R. Metodología de evaluación técnica de oferta de automóviles de carga./ Rigoberto Aragón Marrero, Dr. Francisco Benítez Cárdenas , tutor-- Tesis de Doctorado. ISPJAE (H),1988.—104h.
- Armstrong, B.D. The influences of Cool Engines on Car Fuel Consumption. Dept. Of the Environment, Transport and Road Research Laboratory Supplementary Report.(E:U) (V):1, 1983.
- Asociación de transportistas Españoles. La Conducción Económica: Un remedio ante los continuos incrementos de los precios de los combustibles. Tomado de: www Transporte 3. es. Revista transporte 3., Marzo-Abril del 2000.
- Bennet, C.R. Modelling Road User and environmental Effects in HMD-4/ C.R. Bennet.—Estados Unidos: The World Bank , 2001.— [s.p.]
- Bennet., C.R. Generating RUE Elasticities for the HDM-4 Calibration/ C.R.Bennet.-- Auckland :Reference Manual. Internal Report, HTC Infrastructure Management Ltd., 1999.-- [s.p.]
- Biezborodova, G. B. Economía de consumo durante la conducción de los automóviles / G. B. Biezborodova, N. M. Mayak, A. A. Chalii. -- Kiev: Editorial Técnica, 1989.--128p.
- Biggs, D.C. Further Work on Modelling Car Fuel Consumption ARRB Internal Report(Austrian) 390: 10,1985.
- Biggs, D.C. Estimating Fuel Consumption of Light to Heavy Vehicles. ARRB Internal Report AIR (Australian) 395: 15 , 1987.
- Borovskij, B. E. Seguridad del movimiento del transporte automotor / B. E. Borovskij. - - Leningrado: Editorial MIR, 1986.—184p.
- Bosh. Manual de la técnica del automóvil / Bosh.--Barcelona :Editorial Reverté, S.A, 1999.--893p.
- Bus fleet Emission evaluation. Annual Report—Finlandia:[s.n], 2004.—578p.
- Butler, B.C. Use-Related Vehicle Depreciation. Record.-- Washington: Transportation Research D.C..1984.—954p.
- Cao Mones, E. Conducción técnico-económica / Ernesto Cao Mones ,José R. Fuentes Vega, tutor.— Trabajo de Diploma. UCF (Cf), 2001.-- 102p.
- Castro Ruz, F. La entrega de 101 vehículos a la Unión Eléctrica, efectuado en la Unión Eléctrica Nacional. Granma (La Habana) 5 de mayo de 2006: 3-4
- Chudakov, D.A. Fundamentos de la teoría y el cálculo de tractores y automóviles / D. A. Chudakov. - - Moscú: Editorial MIR, 1977.-- 431p.
- Claffey, P. Running costs of Motor Vehicles as Affected by Road Design and Traffic/ P. Chaffey.-- Washington: NHCPR Report D.C.,1971.-- 111
- Clos, Juan. El transporte público metropolitano, intermodal y eficiente: una clave del futuro. Tomado de:http://www.bcn.es/publicacions/b_mm/bmm_transporte/bmm_transport_3.htm,2002.
- Cuba. Minint. Ley 60 del codigo de vialidad y transito... La Habana, 2002.—43p.
- Cox, J.B. Models for Predicting Vehicle Operating Costs in Urban Areas/J.B. Cox.-- Melbourne: Report to Austroads Project. Cox and Arup Planning, 1996.—43 p.

- Erojov, V. I. Explotación económica de los automóviles / V. I. Erojov. -- Moscú: Editorial DOSAAF, 1986.--128p.
- Evans, L Hernan. Automobile fuel economy in fixed urban driving schedule . Transportation Science (E.U.).12: 140, 1978.
- Fuentes Vega, J. Selección, Evaluación y Renovación del Parque Vehicular / José Ramón Fuentes Vega...—Cienfuegos: Editorial Ucf, 2002.—190 p.
- Fuentes Vega, J. R. et al. Eficiencia Energética en el transporte automotor / José Ramón Fuentes Vega, Juan B. Cogollos Martínez, Ramón Pérez Gálvez—Cienfuegos: Editorial Perla Sur, 2004.—107 p
- Centro de estudio de energia y medio ambiente. 4to taller caribeno de energia y medio ambiente,Cienfuegos,2006. Definición de un criterio para la determinación de la velocidad minima/ CEEMA.—Cienfuegos: CEEMA, 2006.--1 0p.
- Garret, T.K. Automotive fuels and fuel system/KT, Garret. Estados.-- Unidos: Editorial Pentech Press, 2001.—[s.p.]
- Gardner, N.G. The Effects of Reduced Speed Limits on Motor Vehicle Operating Speeds/ N.G. Gardner.-- Ontario: Report to Ministry of Transportation and Communications, Downsview, 1978.—8p.
- 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) l. (VI) 56 –63, 2003.
Greenwood, I.D. Calculating Tyre Diameter./ I. D. Greenwood.—Inglaterra: Memo to the ISOHDM Study, University of Birmingham, 1997.—10p.
- Ilarionov, V. A. Teoría y Construcción de Automóviles / V. A. Ilarionov, M. Morín.-- Moscú: Editorial Construcción de Maquinarias, 1985.—241p.
- Jóvaj, M. S. Motores de automóvil / M. S. Jóvaj..--Moscú: Editorial MIR, 1978.-- 655p.
- Knoroz, V.I and Shelukhin, A.S. Test Data on the Rolling Resistance of Vehicle Tires on Roads with a Hard Surface./ V.I.Knoroz, A.S.Shelukin.-- Moscow :Automotive Prom. Vehicle Research Institute, 1964.—21p.
- Logghe, S. Dynamic modelling of heterogeneous vehicular traffic/ S. Logghe. .—Inglaterra:Ph.D. Dissertation Catholic University of Leuven, 2003.-- [s.p.]
- López Albelo, Boris: Sánchez Rivalta, Pavel. Caracterización de las Principales Vías de la Provincia de Cienfuegos. Boris López Ábelo; Pavel Sánchez Rivalta: Victor Millo Carmenate, tutor.-- UCF (Cf),2003 –132h.
Luc Pelkmans. Influence of Vehicle Test Cycle Characteristics on Fuel Consumption and Emissions of City Buses/Luc Pelkmans, Keukeleere Dirk De.--.Estados Unidos: SAE , 2001.—308 p.
- Makzapetian,G.V. Fundamentos de Teoría, Construcción y Cálculo de Automóviles y Tractores./ G.V. Makzapetian.--UCLV: Empresa de Producciones y Servicio de MES, 1983.--326p.
- Millo Carmenate, V. Modelo de consumo de combustible para vehículos diesel: Ponencia presentada al XV Forum Municipal/ Victor Millo Carmenate.—Cienfuegos: Ucf, 2003.-- [s.p.]
- Millo Carmenate, V. Definición del ciclo básico/ Víctor Millo Carmenate .-- La Habana : CUJAE, sept 2003.-- [s.p.]
- Millo Carmenate, V.. Criterios para la comparación y/o evaluación de camiones Diesel/ Víctor Millo Carmenate; Dr José Ramón Fuentes Vega, tutor.-- Tesis en opción al grado científico de Dr. En Ciencias Técnicas. UCF (Cf), 2004.—100h.
- NC 53-02-86. Elaboración de proyectos de construcción: Vías rurales: Caracterización técnica y característica geométrica del trazado directo. Vigente desde 87-04—96p.

- NC 53-80 Proyectos de construcción. Vías urbanas. Clasificación funcional. Vigente desde 87 – 04.-- 10p.
- Negreti, Emanuele The Corrected Average Speed Approach in Eneas tee Model; An Innovative Solution for the Evaluation of the Energetic and Environmental Impacts of Urban Transport Polices./ Emanuele Negreti.—Italia: Highway and Urban Pollution Int Symposium. Baveno, Mayo, 1998.—12p.
- Padrón Hernández, J. Definición y Solución Teórica a un Ciclo de Movimiento para camiones Diesel/ J. Padrón Hernández; Msc. Víctor Millo Carmenate, Tutor.--Tesis de maestría UCF (CF) , 2003—86h.
- Pérez Alcové, Ignacio. Coeficientes de evaluación de automóviles. Transporte y vías de comunicación (La Habana), 51-55, Julio, 1978.
- Pérez Alcové, Ignacio. Determinación de los valores de relación de transmisión totales que permiten la optimización de los consumos de combustibles y de la dinámica del vehículo simultáneamente/ Ignacio Pérez Alcové.—La Habana: ISPJAE, 1987.—10 p.
- Pérez Alcové, Ignacio. Eficiencia energética de la transportación. Informe final de investigación/ Ignacio Pérez Alcové.—La Habana: ISPJAE, 1991.—17 p.
- Pérez Alcové, Ignacio. In fluencia de la conducción del automóvil en el consumo de combustible. Transporte y vías de comunicación (La Habana) (2): 47-49, Octubre 1980.
- Pérez Alcové, Ignacio. Metodología para la determinación del consumo de combustible en diferentes ciclos de movimiento. Informe final de investigación,/Ignacio Pérez Alcové.—La Habana: ISPJAE, 1984.—14 p.
- Pérez Gálvez, R. La nueva concepción del ciclo de movimiento básico e indicadores dinámicos y de consumo./R: Pérez Gálvez; José R. Fuentes Vega., tutor.—Tesis de Maestría UCF (Cf), 2005.—91 h.
- Ramos Jorge Luis. Evaluación de indicadores de consumo y de la dinámica en las vías de la provincia de Granma./Jorge Luis Ramos; Víctor Millo Carmenate, tutor.--Tesis en opción al grado científico de Master En Ciencias Técnicas. Ucf (Cf), Dic 2003.--102 h.
- Reyes, José Luis. Teoría de los Motores de Combustión Interna / José Luis Reyes,.Ramón Choy Pérez - - Cuba: Editorial Pueblo y Educación, 1985, -- 407p.
- Szczepaniak, Cezary. Teoría del automóvil / Cezary Szczepaniak, Rigoberto Aragón. - -Habana: Editorial ISPJAE, 1974.-- 240p.
- Wong, J Y. Theory of Ground Vehicles. / J. Y. Wong.--[s.l.]:[s.n.], 2001.--528p.
- How to Buy a New car. Tomado de: www.carbuyingtips.com.,2005
- Engineerring Statistics Handbook.Tomado de: www.itl.nist.gov., 2004