



**FACULTAD DE INGENIERÍA.
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**

**“La velocidad mínima de movimiento estable en la
determinación de los coeficientes que valoran la
relación motor-sistema de transmisión”**

TRABAJO DIPLOMA

Autor: Jorge Luis Mirabal Consuegra

Tutor: Dr. José R. Fuentes Vega

Cienfuegos 2015

Declaración de autoridad.



Facultad de Ingeniería Mecánica.

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

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 esa envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico – Técnica, Firma

Firma del Vicedecano

Firma del Tutor

Sistema de Documentación y Proyectos

No podríamos pensar que los resultados de nuestros estudios hoy, de nuestros análisis y de las ideas que arribemos sean perfectos, no hay obra humana perfecta. Después el tiempo, irá mejorándola progresivamente.

Fidel Castro Ruz.

Este trabajo está dedicado a todas las personas que en mi vida me han motivado a luchar por alcanzar este sueño, especialmente:

- ❖ **A mi madre** que con tanto esfuerzo, amor y entrega me ha guiado en la vida, gracias por su apoyo incondicional.
- ❖ **A mi padre** por todos sus consejos y por confiar siempre en mí para llegar a ser alguien de bien.
- ❖ **A mi abuela** Luisa por todo su amor y consideración.
- ❖ **A mi hermana** por su paciencia y para que le sirva de inspiración en su vida profesional.

Es imposible nombrar a todas las personas a las que les estoy agradecido, a todos los que contribuyeron de alguna manera en mi vocación profesional y me han ayudado en esta etapa de mi vida pero no quisiera dejar de mencionar:

- ❖ A mi tutor Dr. José R. Fuentes Vega (Chiqui), gracias por todo su apoyo, conocimiento y confianza.
- ❖ A mi familia, que de una forma u otra se vieron inmersos en este proceso.
- ❖ A Leonardo Oropesa Pórtela y a todos mis amigos por sus consejos en especial a Alexis Santos.
- ❖ A todos los que se han visto involucrados en este Trabajo de Diploma de forma directa o indirecta, **muchas gracias**.

El presente trabajo de diploma se enmarca dentro de una línea de investigación en Eficiencia Energética del Transporte, en específico, en la temática de modelación de ciclos de viaje. Su objetivo se dirige al perfeccionamiento del trabajo desarrollado en la propia institución, de formulación de expresiones que posibiliten determinar las velocidades mínimas de movimiento estable en vehículos pesados y con ellas, definir los rangos de variación de los coeficientes que valoran la relación motor-sistema de transmisión y sus dependencias funcionales.

Para ello se hizo uso de una base de datos experimental de velocidades mínimas de movimiento estable de 19 vehículos, lo que posibilitó arribar por vía teórica a una expresión novedosa de 3er grado para la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable. Dado el carácter complejo de la solución de este tipo de ecuaciones, se arriba además a una expresión con iguales objetivos, sobre la base de establecer correlaciones entre la velocidad mínima de movimiento estable y parámetros de conocida incidencia en la misma. Los resultados obtenidos, mejoran considerablemente los resultados anteriores y simplifican notablemente el método de determinación de este importante parámetro.

Los resultados alcanzados revelan aspectos de connotación teórica, como es la posibilidad de que la frecuencia de rotación mínima de movimiento estable sea la misma para un vehículo determinado en sus diferentes marchas.

Se determinan los valores de los coeficientes que valoran la relación motor-sistema de transmisión y sus rangos de variación y se establecen dependencias funcionales con cada uno de los coeficientes.

This dissertation is part of a line of research in energy efficiency in transport, specifically, on the subject of modeling travel cycles. His target goes to the improvement of the work done in the institution itself, the formulation of expressions that allow determining the minimum stable movement speeds in heavy vehicles and with them, define the ranges of variation of the relative value coefficients engine-system transmission and functional dependencies.

For it was made use of an experimental database of minimum stable movement speeds of 19 vehicles, which enabled arrive by theoretical way to a new expression of 3rd grade for the determination of the minimum rate stable movement. Given the complexity of solving such equations, further up to an expression with the same objectives, based on correlations between the minimum speed and stable movement known parameters impact on it. The results obtained, considerably improve the previous results and significantly simplify the method for determining this important parameter.

The results obtained reveal aspects of theoretical connotation, as is the possibility that the minimum rotation frequency of stable motion is the same for a given vehicle in different gears.

The values of the coefficients measured engine-transmission system and their variation ranges and functional dependency relationship with each of the coefficients are set are determined.

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: ESTUDIOS DOCUMENTALES	6
1.1.- INTRODUCCIÓN	6
1.2.-LAS FUENTES ENERGÉTICAS DE LAS MÁQUINAS AUTOMOTRICES Y SUS CARACTERÍSTICAS.	6
1.3.- FUNDAMENTOS DE LA DINÁMICA VEHICULAR.	13
1.4.-LA VELOCIDAD MÍNIMA DE MOVIMIENTO ESTABLE. RESULTADOS OBTENIDOS EN SU DETERMINACIÓN.	24
1.5.-LOS COEFICIENTES QUE EVALÚAN LA RELACIÓN MOTOR-SISTEMA DE TRANSMISIÓN. DEFINICIÓN Y RESULTADOS DE ESTUDIOS PRECEDENTES.	29
1.5.1.- Introducción.	29
1.5.2.- El área de ausencia de potencia	31
1.5.3.- El solape entre marchas	33
1.5.4.- La selectividad de marchas.	35
1.6.-CONCLUSIONES PARCIALES.	36
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE TRABAJO	38
2.1.-INTRODUCCIÓN.	38
2.2.-METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL MODELO DE VELOCIDAD MÍNIMA DE MOVIMIENTO ESTABLE SOBRE LA BASE DE LA PROPUESTA DE PÉREZ GÁLVEZ.	38
2.3.-CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EXPRESIÓN DE $V_{\min}$ EN FUNCIÓN DE PARÁMETROS DINÁMICOS, ENERGÉTICOS Y CONSTRUCTIVOS.....	42
2.4.-CRITERIO DE DETERMINACIÓN DE LAS DEPENDENCIAS FUNCIONALES DE LOS COEFICIENTES QUE EVALÚAN LA RELACIÓN MOTOR-SISTEMA DE TRANSMISIÓN CON PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL VEHÍCULO.....	46
2.5.-CONCLUSIONES PARCIALES.	50
CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS.	51
3.1.-INTRODUCCIÓN.	51
3.2.-LOS MODELOS DE VELOCIDAD MÍNIMA DE MOVIMIENTO ESTABLE: SUS RESULTADOS.	51
3.3.-RANGOS DE VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES QUE EVALÚAN LA RELACIÓN MOTOR-SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y DEPENDENCIAS FUNCIONALES DE LOS MENCIONADOS COEFICIENTES.	54
3.4.-CONCLUSIONES PARCIALES	62
CONCLUSIONES GENERALES	64
RECOMENDACIONES.....	65
BIBLIOGRAFÍA	66

INTRODUCCIÓN

Los problemas energéticos siguen estando en primer plano de la agenda internacional. Las oscilaciones de los precios del petróleo, los conflictos que se generan en los principales países productores del petróleo y el tan anunciado agotamiento progresivo de las reservas, siguen preocupando a la humanidad, por cuanto hasta el momento, el petróleo y sus derivados siguen constituyendo la fuente energética fundamental, tanto para los procesos industriales como de servicios. Un balance energético a nivel mundial muestra que los combustibles fósiles constituyen un 87.7% de la demanda, contemplando dentro de ellos un 36.4% para el petróleo, un 23.5% para el gas natural (derivado también del petróleo) y un 27.8% para el carbón (Martesanz Parellada, 2008).

Dentro de los servicios, el transporte aparece como un soporte fundamental del sector económico en general, por su papel en la transportación de materias primas, productos terminados y pasajeros. Una mirada al uso indiscriminado de las fuentes energéticas, muestra al transporte como uno de los principales consumidores de derivados del petróleo, alcanzando valores que superan el consumo de energía final del propio sector industrial en muchos países desarrollados. Por ejemplo en España, en un balance de la energía consumida por sectores, muestra al transporte con un 39.1% (Martesanz Parellada, 2008).

Dentro del sector del transporte, que contempla el transporte aéreo, marítimo, por ferrocarril y el automotor, se destaca el consumo de este último, y dentro de éste, los vehículos de turismo ocupan un lugar fundamental, por el crecimiento indiscriminado de este tipo de transporte en relación con el transporte masivo. En otro sentido, el uso indiscriminado del transporte automotor de carga en sustitución de medios más económicos, como el transporte por ferrocarril o el fluvial, incrementan sustancialmente los indicadores de consumo del sector del transporte. Esto es de particular incidencia en muchos países de América Latina.

Desde el punto de vista tecnológico, se acometen diversos trabajos para mejorar el desempeño del transporte, entre otros:

- Construcción de motores más eficientes, reducción de dimensiones y mejoramiento de la forma aerodinámica de los vehículos, para reducir los indicadores de consumo del transporte.
- Búsqueda de soluciones a la sustitución de las actuales fuentes energéticas, es decir, motores diesel y de gasolina por motores eléctricos, turbinas de gas, motores solares y de celdas combustibles, entre otros.

- Sustitución del combustible diesel y gasolina por alcohol y mezclas alcohólicas, biocombustibles, gas natural, hidrógeno, entre otros.

En la labor de reducción de los indicadores de consumo del transporte automotor, se trabaja igualmente en la logística de los medios de transportación, en los cuales hay abundantes resultados internacionales y otros a lo largo y ancho del país.

Siendo muchos de estos trabajos, investigaciones vinculadas al sector tecnológico, fuera de nuestro alcance, dada nuestra condición de país no productor de combustibles ni poseer instalaciones fabriles para la construcción vehicular (sólo una instalación de montaje en Guanajay), debemos encaminar nuestros pasos, hacia el uso racional del combustible y los medios de transportación disponibles, lo cual resulta sumamente importante.

En tal sentido, se han realizado en nuestro país diversos trabajos, entre los cuales podemos relacionar los de Raña González y Castillo Ascencio(2004, 2006) en el IPSJAE y los realizados en nuestra propia universidad: el trabajo doctoral de V. Millo (2003) y el de R. Pérez Gálvez (2007).

En estos dos últimos trabajos, se ha abordado la modelación matemática de los ciclos de viaje y la propuesta de indicadores para evaluar la relación motor-sistema de transmisión. Millo propuso los indicadores básicos que valoran la relación motor-sistema de transmisión, determina los rangos de variación de los mismos y Pérez Gálvez, parte de los mismos indicadores, pero al introducir expresiones para determinar la velocidad mínima de movimiento estable y la eficiencia de la transmisión, de gran incidencia en los mismos, modifica los rangos de variación de estos coeficientes. Además Pérez Gálvez propone otros indicadores para evaluar los vehículos, a partir de la modelación matemática de los ciclos de viaje o el propio trabajo experimental.

En relación con la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable, propuesta por Pérez Gálvez, si bien fue una novedad científica y tiene gran importancia, pues evita asumir su magnitud en cálculos prácticos y de investigación, presenta los siguientes inconvenientes:

- Es un polinomio de grado tres, cuyo método de solución, además de engorroso, es aproximado. Los software especializados, que deben tener mayor exactitud, deben dar respuesta vehículo por vehículo, lo cual resulta muy engorroso, cuando se quiere trabajar con grandes bases de datos.
- La base de datos experimental para la determinación del modelo $\psi = f(V_{\min})$ fue muy reducida (9 vehículos).
- El hecho de que el modelo mencionado, se sustituye en una expresión teórica para obtener el modelo final, le resta exactitud al resultado.

Por tal razón, se debe trabajar en dos direcciones: tratar de perfeccionar la propuesta de Pérez Gálvez y buscar nuevas vías de solución a la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable, aplicando en el trabajo científico, aquellas que brinden resultados de mayor confiabilidad.

En tal sentido, se abordó en un trabajo de diploma (Del Sol Morales, 2014), la búsqueda de un método de determinación de la velocidad mínima de movimiento estable más factible de utilización, sobre la base de establecer dependencias con parámetros vinculados a estavelocidad. No obstante, no se arriba en el mismo a soluciones definitivas, pues se incurre en errores, que pueden considerarse de significación: se utiliza la base de datos en km/h en vez de m/s, las frecuencias de rotación correspondientes a las velocidades mínimas de movimiento estable dan relativamente elevadas, hay errores en el establecimiento de las dependencias funcionales en el software Curve Expert y rangos en algunos coeficientes que no resultan lógicos.

En otro sentido, no se ha trabajado en el perfeccionamiento de la expresión propuesta por Pérez Gálvez, a partir de una ampliación de la base de datos experimentales.

Por tal razón, no puede darse como concluido el estudio, y esta es la razón fundamental que motiva el presente trabajo investigativo.

Como quiera que los resultados, van a implicar modificaciones en los rangos de variación de los coeficientes que evalúan la relación motor-sistema de transmisión, debemos encontrar parámetros o combinaciones de los mismos, que muestren la existencia de una regularidad con cada uno de los coeficientes, de modo que posibiliten representar gráficamente los indicadores en función de dichos parámetros, para realizar una valoración más adecuada de la relación motor-sistema de transmisión en cada vehículo evaluado.

Por tales razones, se formula el **Problema de investigación** siguiente:

“Las actuales dependencias de la velocidad mínima de movimiento estable no posibilitan su determinación sencilla y confiable, lo cual incide desfavorablemente sobre la determinación de los indicadores que evalúan la relación motor-sistema de transmisión, de suma importancia en la evaluación, selección y remodelación vehicular”

Se establece como **Objetivo general** de la investigación:

“Establecer nuevas dependencias de la velocidad mínima de movimiento estable, que posibiliten la determinación confiable de los indicadores que evalúan la relación motor-sistema de transmisión y las dependencias funcionales de los mencionados coeficientes en vehículos automotores de carga, con motores diesel o de gasolina convencionales”.

Siendo sus **Objetivos específicos**:

1. Aplicar la metodología empleada por Pérez Gálvez, para obtener otro modelo de velocidad mínima de movimiento estable con una mayor base de datos experimentales.
2. Validar los resultados con la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable en los propios vehículos con datos experimentales de esta velocidad.
3. Proponer un modelo de determinación de la velocidad mínima de movimiento estable más factible de utilizar, en función de parámetros dinámicos, energéticos y constructivos de la máquina automotriz, vinculados con la misma.
4. Validar los resultados determinando la velocidad mínima de movimiento estable en vehículos con datos experimentales de la misma.
5. Determinar los rangos de variación de los coeficientes que evalúan la relación motor-sistema de transmisión en función del modelo que mejores resultados brinde.
6. Definir los parámetros de correlación de los mencionados coeficientes y graficar las dependencias correspondientes de cada uno de ellos.

Como **Hipótesis** del presente trabajo, se propone:

“El modelo propuesto para la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable posibilitará su determinación más exacta y la de los coeficientes que evalúan la relación motor-sistema de transmisión, en vehículos pesados con motores convencionales”.

Objeto de investigación:

Cualidades dinámicas de las máquinas automotrices.

Campo de investigación:

La velocidad mínima de movimiento estable y su vínculo con los indicadores que evalúan la relación motor-sistema de transmisión.

Fundamentación:

El presente trabajo de diploma es la continuidad de un trabajo investigativo que se ha venido desarrollando en nuestro centro, vinculado a la modelación de los ciclos de viaje. El trabajo tiene importancia desde el punto de vista docente e investigativo.

Las expresiones que se pretenden obtener para la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable son novedosas, pues sólo aparece reflejada en la literatura a nuestro alcance, la propia expresión propuesta por el grupo de investigación de la Universidad de Cienfuegos. Este parámetro es de suma importancia para determinar los coeficientes que evalúan la relación motor-

INTRODUCCIÓN

sistema de transmisión, pues garantiza la objetividad de su determinación. Estos parámetros posibilitan evaluar las cualidades dinámicas de los vehículos, tanto a los fines de selección como de remodelación, así como para otros trabajos prácticos.

El trabajo es por demás viable, pues se cuenta con las bases de datos para el desarrollo del mismo y con los recursos necesarios: personal, software, computadoras.

CAPÍTULO I: ESTUDIOS DOCUMENTALES

1.1.- Introducción

En este capítulo se brindan los fundamentos teóricos que sustentan el trabajo investigativo. Se parte del estudio de los diferentes tipos de fuentes energéticas utilizadas, enfatizando en la fuente energética más utilizada, el motor de combustión interna convencional y sus características. Se abordan los fundamentos de la dinámica, que van a posibilitar la definición de expresiones, dependencias y análisis del comportamiento de la velocidad mínima de movimiento estable y los coeficientes que muestran la relación motor-sistema de transmisión. De igual forma, se muestra la expresión para el cálculo de la eficiencia de la transmisión y los resultados obtenidos en la definición y determinación de la velocidad mínima de movimiento estable y los coeficientes que evalúan la relación motor-sistema de transmisión.

1.2.-Las fuentes energéticas de las máquinas automotrices y sus características.

Para la propulsión de las máquinas automotrices han sido utilizados varios tipos de fuentes energéticas, pero el motor de combustión interna, no ha encontrado un sustituto ni a corto ni a mediano plazo, a pesar de que presentan toda una serie de desventajas.

Desde hacen muchos años, se han realizado tentativas de sustituir los motores de combustión interna por motores eléctricos, turbinas de gas y otros tipos de motores, pero la aplicación masiva de estos motores en las máquinas automotrices presenta numerosas dificultades:

En los **vehículos eléctricos** se relacionan entre otras(WalshyKolke, 2003; Larminie, 2003; Husain, 2005):

- a).-Dimensiones y peso elevados de la batería, lo que ha limitado su uso solamente para vehículos de baja potencia.
- b).-Relativamente baja autonomía del vehículo. En los casos que han alcanzado mayor autonomía es a cuenta de baterías muy costosas.
- c).-En las baterías que reportan mejores resultados, no se ha logrado un período de servicio elevado, que justifique el precio de las mismas.
- d).-El tiempo de carga de la batería siempre excede las dos horas, lo que constituye un inconveniente cuando se pretende dar un uso intensivo al vehículo.

e).-La necesidad de implantación de toda una red nacional de suministro de energía a los vehículos eléctricos, implica un costo de inversión muy elevado.

Por todas estas cuestiones, el uso de los motores eléctricos como fuente energética en las máquinas automotrices ha quedado relegado a:

- Vehículos industriales, como los cargadores frontales, que usan grandes baterías como contrapeso y donde su trabajo, en jornadas fijas con extensos períodos sin funcionamiento, no imposibilitan la carga de las mismas por períodos prolongados de tiempo.
- Vehículos ligeros, de uso particular no intensivo (de la casa al trabajo y otros menesteres)
- Vehículos pesados de carga ligera: camiones repartidores de confituras, por ejemplo, que circulan en ciudades, donde parte de su capacidad para transportar cargas útiles, se utiliza para transportar las grandes baterías.

Las desventajas del uso de los motores eléctricos como fuente energética ha conllevado a concebir **vehículos híbridos (HEV)**, es decir, vehículos que utilizan además del motor eléctrico, fuentes convencionales(Husain, 2005).

En cualquiera de las variantes del HEV, el motor de combustión utilizado, debe ser más pequeño que los utilizados en vehículos convencionales, reduciendo el consumo de combustible, los niveles de emisiones y el ruido. En sentido general, los HEV amplían considerablemente la autonomía del vehículo, reducen o eliminan los grandes períodos de carga, dos de las principales desventajas del vehículo eléctrico.Ciertamente, la tecnología que se utiliza en los HEV los hace más complejos y costosos que los vehículos con motores convencionales.

En las **turbinas de gas** se relacionan las siguientes desventajas (Arias-Paz, 2004):

- Debido a sus dimensiones, mucho más pequeñas que las utilizadas en instalaciones industriales, hay necesidad de emplear metales de alta calidad para asegurar que se mantengan las holguras adecuadas durante el período de explotación.
- Por lo anterior, el costo de los vehículos con turbinas de gas es elevado.

Otras tentativas, como el motor Wankel o el híbrido hidrógeno-eléctrico, han quedado relegadas a vehículos experimentales o de producciones muy reducidas.

En tales circunstancias, se ha trabajado en introducir modificaciones a los motores convencionales, con vistas a perfeccionar su funcionamiento, entre ellas las más importantes: la inyección de gasolina y los motores diesel con control electrónico de la inyección (Common Rail).

Inyección de gasolina:(Guerrero, 2009; Arias-Paz, 2004)

El carburador era el medio más empleado para preparar la mezcla aire-combustible en los motores de gasolina, pero su funcionamiento era mecánico y su regulación muy imprecisa. Desde mediados del siglo XX, se comenzó a preparar la mezcla por medio de la inyección de combustible en el colector de admisión de los motores de aviación, debido a que los carburadores son propensos a congelarse durante los cambios de altitud. Posteriormente, comienza a experimentarse en automóviles de carrera.

Esta tendencia se explica, por las ventajas que supone la inyección de combustible, en relación con las exigencias de potencia, consumo, comportamiento de marcha, así como de emisión de contaminantes, por las siguientes razones:

- La inyección permite una dosificación muy precisa del combustible en función de los regímenes de marcha, carga del motor y condiciones ambientales, controlando la dosificación de tal forma, que el contenido de elementos nocivos en los gases de escape se reduce considerablemente.
- Asignando una electroválvula o inyector a cada cilindro, se consigue mejor homogeneidad de distribución de la mezcla por cilindro.
- Los sensores instalados en diferentes puntos del motor, permiten la regulación automática del proceso por medio de una Unidad Electrónica de Control (ECU), que no son más que microprocesadores instalados en el vehículo.
- La supresión del carburador, posibilita dar forma a los conductos de admisión, reduciendo las pérdidas en la admisión, mejorando el llenado de los cilindros, con lo cual es posible favorecer el par motor (a bajas y altas revoluciones, dependiendo de la configuración) y la potencia, además de solucionar los conocidos problemas de la carburación.
- Posibilita además, incorporar la turbo-alimentación a los motores de gasolina.

La inyección de gasolina presenta múltiples variantes en sus etapas de desarrollo. Las más utilizadas en la actualidad son la inyección indirecta (en el conducto de admisión, muy próximos a la válvula) y la inyección directa (en el interior de la cámara de combustión).

Common Rail:(Hillier, Coombes y Rogers, 2006)

El sistema de **Common-Rail** o **conducto común**, es un sistema de inyección de combustible electrónico para motores diesel, en el que el combustible es aspirado directamente del depósito de combustible a una bomba de alta presión y ésta a su vez la envía a un conducto común, de donde se le suministra el combustible a alta presión a todos los inyectores. Este sistema fue desarrollado por el fabricante de automóviles italiano Fiat, quien después cedió su industrialización a Bosch.

Es esencialmente igual a la inyección multipunto de un motor de gasolina, en la que también hay un conducto común para todos los inyectores, con la diferencia de que en los motores diesel se trabaja a una presión mucho más alta (1500 - 2000 kg/cm²).

Las ventajas de este sistema son:

- Controla electrónicamente el suministro de combustible, permitiéndonos realizar hasta 5 pre-inyecciones antes de la inyección principal, con lo que se prepara la mezcla para una mejor combustión. Esto genera un nivel sonoro mucho más bajo y un mejor rendimiento del motor.
- La presión con que trabaja es casi independiente de la frecuencia de rotación del motor y de su carga; es decir, aunque el conductor no acelere a fondo y el motor gire despacio, es posible inyectar el combustible a una presión muy alta y casi constante, durante todo el proceso de inyección.
- La elevada atomización del combustible, por parte de los inyectores electrónicos, controlados por una ECU, y la alta presión a la que trabaja el sistema, hacen que se aumente potencia en todo el rango de revoluciones, se reduzca el consumo de combustible y se disminuya la cantidad de emisiones contaminantes, en especial los NO_x, el CO y los HC sin quemar.
- Al no existir un mecanismo mecánico que determine cuándo se inyecta el combustible, se puede elegir libremente cuándo inyectar, incluso realizar varias inyecciones en un mismo ciclo. Esto permite la pre-inyección que se produce justo antes de la principal, aumentando la presión y temperatura dentro del cilindro, lo que mejora la combustión y disminuye el ruido característico de los diesel, al reducir la rigidez en el funcionamiento del motor (incremento elevado de la presión de los gases de la combustión por ángulo de giro del cigüeñal).
- La ECU regula el proceso de combustión, mediante la selección de presión de combustible óptima, temporización de la inyección y duración del flujo del combustible, de acuerdo con los mapas de electrónicos de desempeño.

“De todas formas, cualquier solución en el futuro debe tener en cuenta la reducción del impacto ambiental de los gases de escape y del ruido y la utilización de fuentes alternativas de energía.

La fuente energética define en gran medida, conjuntamente con el sistema de transmisión, muchos de los más importantes indicadores técnico-económicos del vehículo: su régimen de velocidad, su capacidad de aceleración y su consumo de combustible, entre otros, además de que representa un elemento muy importante en el costo de inversión del vehículo.

En los vehículos automotores, a pesar de los esfuerzos realizados en la búsqueda de nuevas fuentes y combustibles alternativos, las fuentes energéticas por excelencia siguen siendo los motores de

combustión interna, diesel y de gasolina, mejorados en los últimos tiempos por la introducción de la inyección electrónica en ambos motores. (Fuentes Vega, 2014)

Las características exteriores de velocidad, las características parciales y de carga se han utilizado para evaluar el comportamiento de los motores de combustión interna en diferentes condiciones de carga y velocidad. Dada la heterogeneidad de las condiciones de explotación y los diversos regímenes de movimiento del vehículo, los motores se ven sometidos a condiciones muy variables de carga. Por ello, durante un elevado por ciento del tiempo, el motor trabaja a cargas parciales.

Las características de los motores pueden ser obtenidas por vía experimental o teórica. La determinación experimental de las características en las bases de explotación del transporte no es factible económicamente, pues su utilidad y frecuencia de uso no justifica el alto costo de adquisición de los bancos de ensayo e instalaciones complementarias. No existen por otro lado, expresiones que posibiliten determinar con exactitud adecuada las características parciales, ni medios que le permitan al conductor identificar estas, con la posición del pedal de suministro de combustible. Por ello, y porque representan las máximas potencialidades del motor, contra las cuales se pueden comparar los requerimientos del vehículo en condiciones de trabajo determinadas, es por lo que la determinación teórica de la característica exterior resulta fundamental para los fines de la investigación.

Su determinación teórica se realiza tradicionalmente por las siguientes expresiones (Aragón Marrero, 1988; Litvinov, 1989; Fuentes Vega y Pérez Gálvez, 2004).

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

dónde: N_{emax} , W_N - potencia máxima y frecuencia de rotación para potencia máxima.

N_{ex} - es la potencia para una frecuencia de rotación W_x del motor.

C_1 , C_2 , C_3 - son coeficientes empíricos que dependen del tipo de motor

De esta forma, el torque (M_{ex}) para una frecuencia de rotación W_x del cigüeñal del motor:

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

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

donde: M_{eN} – torque para potencia máxima en característica exterior.

Para determinar el consumo específico de combustible:

$$g_{ex} = g_{eN} \cdot \left[C_4 - C_5 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right) + C_6 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right)^2 \right] \quad (\text{g/kW.h}) \quad (1.3)$$

donde: g_{ex} - consumo específico para una W_x determinada.

g_{eN} - consumo específico para $N_{e \text{ máx}}$. Es un dato de la documentación técnica.

C_4, C_5, C_6 - son coeficientes empíricos que dependen del tipo de motor (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Coeficientes empíricos para la determinación del consumo específico de combustible en característica exterior. Tomado de Ilarionov (1985)

Motor	C_4	C_5	C_6
Gasolina	1,20	1,00	0,80
Diesel de 2t.	1,55	1,55	1,00
Diesel de 4t.			
-Inyección Directa	1,55	1,55	1,00
-Pre-cámara.	0,35	1,35	1,00
-Cámara de Turbulencia	1,20	1,20	1,00

A partir del concepto de elasticidad pueden determinarse por cálculo los coeficientes C_1, C_2 y C_3 utilizados para el cálculo teórico de la característica exterior de velocidad (ecuación 1.1 y 1.2).

Rigoberto Aragón, en su Tesis de Doctorado, propone las siguientes ecuaciones (Aragón Marrero, 1988):

- para los motores de gasolina:

$$C_1 = \frac{E \cdot e_n - 3e_n + 2}{(e_n - 1)^2}; \quad C_2 = \frac{3e_n^2 - 2e_n \cdot E - 1}{(e_n - 1)^2}; \quad C_3 = \frac{2e_n^2 - E \cdot e_n - e_n}{(e_n - 1)^2} \quad (1.4)$$

- para los motores diesel:

$$C_1 = \frac{E \cdot e_n - 2E + 1}{(e_n - 1)^2}; \quad C_2 = \frac{2E - 2e_n}{(e_n - 1)^2}; \quad C_3 = \frac{E \cdot e_n - e_n^2}{(e_n - 1)^2} \quad (1.5)$$

A. S. Litvinov, propone por su parte las siguientes ecuaciones (Litvinov, 1989):

- en motores diesel, se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

$$C_1 = 1 - \frac{A_{Me}}{100} \cdot \frac{e_n(2 - e_n)}{(e_n - 1)^2}; \quad C_2 = 2 \cdot \frac{A_{Me}}{100} \cdot \frac{e_n}{(e_n - 1)^2}; \quad C_3 = \frac{A_{Me}}{100} \cdot \left(\frac{e_n}{e_n - 1} \right)^2 \quad (1.6)$$

- para motores de gasolina, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$C_1 = 2 - \frac{25}{A_{Me}}; \quad C_2 = \frac{50}{A_{Me}} - 1; \quad C_3 = \frac{25}{A_{Me}} \quad (1.7)$$

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

$$e_n = \frac{W_N}{W_M}; \quad e_M = \frac{M_{e\max}}{M_{eN}} \quad (1.8)$$

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

e_n, e_M - coeficientes de elasticidad de frecuencia de rotación y torque, respectivamente

En la [figura 1.1](#) se muestra la característica exterior de un motor diesel (a) y otro de gasolina (b).

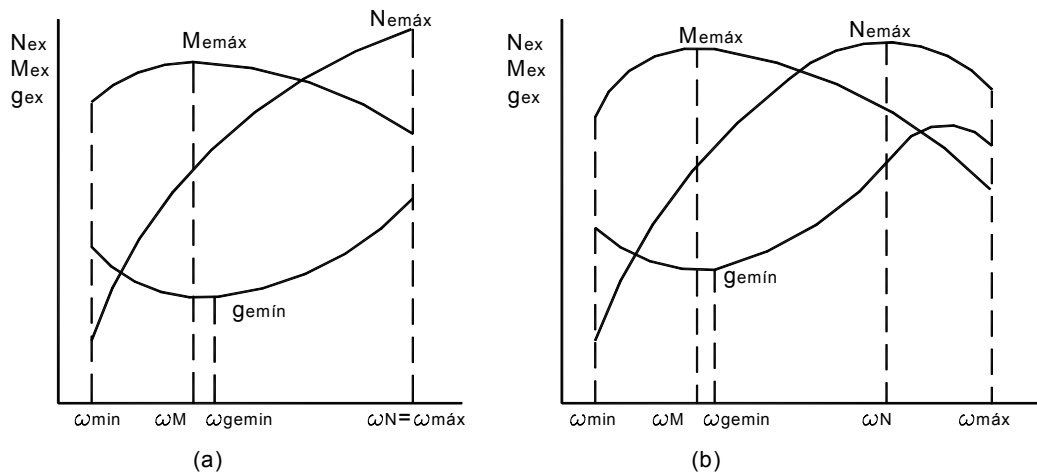


Figura 1.1 Características exteriores de velocidad de un motor diesel (a) y de gasolina (b)
(Muñoz, Peraza y Dorrego, 2006)

Para el cálculo de la característica exterior se parte de los datos de $N_{e\max}$ y $M_{e\max}$ ofrecidos por el fabricante, los cuales tienen que ser afectados por un coeficiente de corrección (K_c). Este coeficiente, toma en consideración que estos parámetros, han sido obtenidos en bancos de ensayo de motores, cumpliendo estándares internacionales que prescriben el desarrollo de las pruebas, prescindiendo de uno u otro componente del motor, por ello, los parámetros de salida en el vehículo se diferencian de los que indica el fabricante en su documentación técnica (Ver [tabla 1.2](#)).

Tabla 1.2 Valores normados de K_c (Litvinov, 1989)

Tipo de norma:	K_c
GOST (Rusia y Comunidad de Estados Independientes)	0.93-0.95
DIN (Alemania) (antiguamente)	0.95-0.96
SAE (Estados Unidos)(vieja)	0.86-0.88
SAE (Estados Unidos) (nueva)	0.95-0.96
ISO (Unión Europea, Internacional)	0.95-0.96

La característica exterior se calcula en el rango de trabajo del motor (de $W_{\min}$ - $W_{\max}$), como mínimo para 10 valores de W_x .

La frecuencia de rotación máxima se determina, de acuerdo al tipo de motor, según:

$$W_{\max} = W_N (1,1-1,2) \quad (1/s) \text{ para motores de gasolina}$$

$$W_{\max} = W_N \quad (1/s) \text{ para motores diesel}$$

La frecuencia de rotación mínima ($W_{\min}$), no puede confundirse con la de ralentí, que es la mínima frecuencia de rotación del motor en vacío. La frecuencia de rotación mínima es la que corresponde en cada marcha, a la velocidad mínima de movimiento estable del vehículo. Para determinarla hacen falta parámetros que se estudiarán con posterioridad. La importancia de su determinación y los esfuerzos realizados por encontrar una expresión que posibilite su determinación con exactitud aceptable, se abordarán con posterioridad en el epígrafe 1.4.

Las características exteriores de los actuales motores de inyección de gasolina y de control electrónico de la inyección en el diesel (Common Rail), se diferencian de las correspondientes a los motores convencionales. En la literatura consultada no aparecen expresiones que permitan el cálculo teórico de estos motores, lo cual constituye un futuro campo de investigación. Mientras ello ocurre, se tendrán que utilizar las anteriores expresiones, que brindan al menos valores bastante aproximados en los motores de inyección de gasolina. Las diferencias en el caso del diesel Common Rail son mayores, si bien los motores con control electrónico de la inyección no alcanzan la diseminación de los anteriores en nuestro país.

1.3.- Fundamentos de la dinámica vehicular.

Para la modelación matemática de los ciclos de movimiento del vehículo, se parte de las ecuaciones que describen las fuerzas actuantes sobre el mismo, en su interacción con la fuente energética y el sistema de transmisión, básicas también para la determinación de sus indicadores dinámicos y de consumo. Con el desarrollo de la actividad científica estas expresiones evolucionan, y es preciso, un

estudio de las propuestas más acertadas en función de los objetivos del trabajo. Para comenzar este estudio, en la **figura 1.2** se representan las fuerzas que actúan sobre un vehículo en la condición más general del movimiento, es decir, subiendo pendientes con aceleración y traccionando un remolque.

En la figura:

- G , $G \cdot \sin \alpha$, $G \cdot \cos \alpha$ - peso total de la máquina automotriz equipada completamente y sus componentes, paralela a la superficie de apoyo y perpendicular a la misma, respectivamente.
- h_s , a , b - coordenadas que determinan la posición del centro de gravedad.

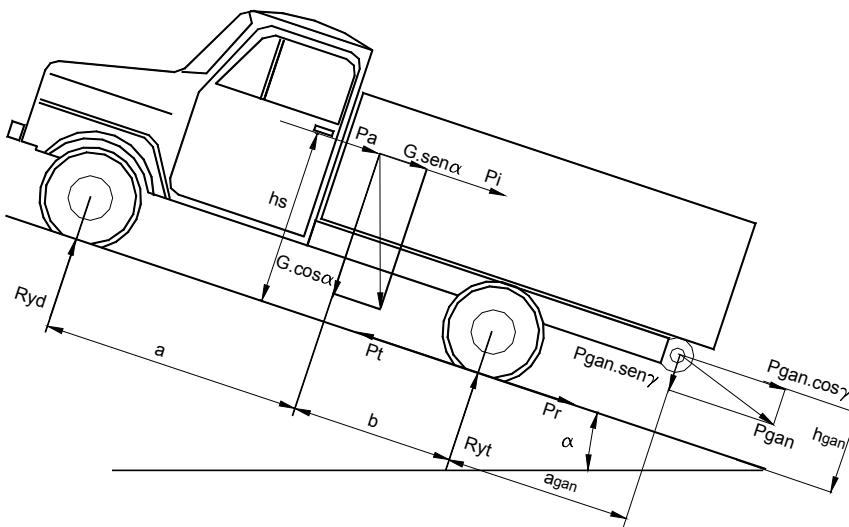


Figura 1.2 Fuerzas que actúan sobre un vehículo que se mueve por una pendiente ascendente, traccionando un remolque, con velocidad variable.

- a_h , h_h - coordenadas que determinan la posición del punto de enganche del remolque.
- R_{yd} , R_{yt} - reacciones del camino en las ruedas delanteras y traseras respectivamente, normales a la superficie de apoyo.
- P_r - Fuerza de resistencia al rodamiento.
- P_a - componente longitudinal de la resistencia total del aire.
- P_i - Fuerza total de inercia durante el movimiento no uniforme.
- P_t - fuerza tractiva.
- P_{gan} , $P_{gan} \cdot \sin \alpha$, $P_{gan} \cdot \cos \alpha$ - fuerza en el gancho o fuerza de tiro y sus componentes: perpendicular a la superficie de apoyo y paralela a la misma.
- α - ángulo de inclinación de la vía.

La fuerza de inercia (P_i) surge debido a la aceleración lineal del vehículo y angular de sus piezas y mecanismos en movimiento de rotación. Está aplicada en el centro de masa del vehículo, en sentido contrario a la aceleración del sistema y se expresa según:

$$P_i = \frac{G}{g} \cdot \delta_i \cdot \frac{dV}{dt}; \quad N \quad (1.9)$$

Donde: g – es la aceleración de la gravedad, m/s^2

dV/dt – es la aceleración del vehículo, m/s^2

δ_i – es el coeficiente de las masas reducidas, que contempla el efecto de las masas en rotación no uniforme sobre la aceleración lineal del vehículo.

En el coeficiente de las masas reducidas, incide fundamentalmente la inercia del volante, de las ruedas y de los elementos fundamentales del sistema de transmisión, si bien estos últimos son despreciados por algunos autores (Ilarionov, 1985; Litvinov, 1989; Pacejka, 2006). Su valor en vehículos diferentes con transmisiones similares no varía en amplios límites, por ello es factible la utilización de expresiones empíricas (Ver [tabla 1.3](#)).

Tabla 1.3. Expresiones empíricas del coeficiente de las masas reducidas. (Tomado de Pérez Gálvez, 2007)

	Expresión	Referencia	Año
1.	$\delta_i = 1.04 + 0.05 / i_{si}^2$ Para automóviles $\delta_i = 1.15 + 0.01 / i_{ci}^2$ Para tractores	D. A. Chudakov	1977
2.	$\delta_i = 1 + \delta_1 + \delta_2 / i_{si}^2$; $\delta_1 = 0.03 - 0.05$; $\delta_2 = 0.04 - 0.06$	G. V. Maksapetian	1983
3.	$\delta_i = 1 + \left(\delta_1 + \delta_2 / i_{si}^2 \right) \cdot G / G_p$; $\delta_1 \approx \delta_2 \approx 0.03 - 0.05$	V. A. Ilarionov	1985
4.	$\delta_i = 1 + \delta_1 + \delta_2 / i_{si}^2$; $\delta_1 \approx \delta_2 \approx 0.04$	A. C. Litvinov	1989
5.	$\delta_i = a_0 + a_1 \cdot \arctg\left(a_2 / V^3\right)$; $a_0; a_1; a_2$ Coeficientes de la regresión, según tipo de vehículo.	C.R. Bennet	2001

Donde: i_{si} – es la relación de transmisión de la caja de velocidad del vehículo.

G_p – es el peso propio del vehículo, N

V – es la velocidad de movimiento, m/s

Como puede observarse la 5ta expresión es específica para algunos tipos de vehículos. El resto de las expresiones se diferencian muy poco, por lo que se adopta la siguiente:

$$\delta_i = 1.04 + \frac{A_\delta}{i_{si}^2} \quad (1.10)$$

Donde: $A_\delta = 0.04-0.06$, siendo sus valores menores para vehículos ligeros y los mayores para pesados.

Rexeis(2005), plantea la determinación de la fuerza de inercia según:

$$P_i = \left(\frac{G}{g} \cdot \Lambda + G_c \right) \cdot dV/dt \quad (1.11)$$

Donde: G_c –peso de la carga útil, N

Λ - coeficiente que toma en cuenta el efecto de las masas en rotación no uniforme.

Λ se expresa en función de la velocidad del vehículo, según:

$$\Lambda = \Lambda_0 \cdot 0.833 \cdot [1 - 0.4 \cdot \log(V \cdot 0.0667)] \text{ para } 1\text{m/s} < V < 12\text{m/s} \quad (1.12)$$

Donde: Λ_0 –coeficiente de entrada. $\Lambda_0 = 1.05-1.2$

Por debajo de 1m/s, $\Lambda=0$ y por encima de 12m/s, $\Lambda=1$.

Es más sencillo en aplicaciones ingenieras utilizar la ecuación 1.10, que además se ha probado por MilloCarmenate, Fuentes Vega y Cogollos Martínez (2004); Pérez Gálvez (2007) y otros, en trabajos de investigación con buenos resultados.

Se denomina como **resistencia al camino** (P_c), a la resultante de la suma vectorial de la resistencia al rodamiento (P_r) y la componente longitudinal del peso en vías inclinadas o resistencia a la pendiente (P_α), razón por la cual no aparece en el diagrama del sólido rígido. Estas resistencias son las componentes fundamentales de la resistencia vial y de esta forma se logra una simplificación en modelos y demostraciones, desde el punto de vista matemático.

$$P_c = P_r + P_\alpha \quad (1.13)$$

La resistencia a la pendiente, cuando la pendiente es positiva es una resistencia y en pendiente negativa se convierte en una fuerza motriz, o sea, se encuentra a favor del movimiento. Se expresa según:

$$P_\alpha = G \cdot \sin \alpha; \text{ (N)} \quad (1.14)$$

La resistencia al rodamiento, se obtiene como resultado del producto de la carga normal aplicada a las ruedas por el coeficiente adimensional de resistencia al rodamiento (f), que toma en cuenta tanto las pérdidas por deformación no elástica del neumático como de la superficie de apoyo.

$$P_r = f \cdot G \cdot \cos \alpha; \quad (\text{N}) \quad (1.15)$$

Sustituyendo 1.14 y 1.16 en 1.13, la resistencia al camino se expresa de la siguiente forma:

$$P_c = P_r + P_\alpha = G \cdot f \cdot \cos \alpha + G \cdot \sin \alpha = G \cdot (f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) = G \cdot \psi \quad (1.16)$$

Donde: ψ es el denominado coeficiente de resistencia al camino.

En función de la pendiente puede expresarse P_c según:
$$P_c = \frac{G \cdot (f + p)}{\sqrt{1 + p^2}}; \quad (1.17)$$

Donde: p es la pendiente de la vía en por ciento.

Para pendientes menores del 10%, la expresión 1.17 puede simplificarse según:

$$P_c = G \cdot (f + p) \quad (1.18)$$

El coeficiente de resistencia al rodamiento depende de un gran número de factores, entre los que se encuentran: el tipo y estado de la superficie de apoyo, la carga aplicada sobre las ruedas, la velocidad de movimiento, la temperatura y presión interna del neumático, el tipo de neumático, su estado y sus características constructivas. Muchos investigadores utilizan los valores tabulados del coeficiente f en la literatura (O'Keefe, 2003; Nam y Giannelly, 2005; Cárdenas, 2006), generalmente expresados para bajos valores de velocidad de movimiento. Otros prefieren hacer uso de las expresiones experimentales, que muestran la dependencia de f de varios factores, entre otros: la velocidad de movimiento, la carga aplicada a las ruedas, las dimensiones, presión interna y tipo de neumático, y de f_0 , coeficiente f determinado para bajas velocidades de movimiento. La siguiente tabla muestra algunas expresiones empíricas del coeficiente f y de P_r :

Tabla 1.4. Expresiones empíricas para la determinación del coeficiente de resistencia al rodamiento y la resistencia al rodamiento. (Tomado de Pérez Gálvez, 2007)

	Expresión	Referencia	Año
1.	$P_r = \frac{k_{cm} \cdot R_y^2}{D_o} \cdot \sqrt{\frac{h_o}{b_o}};$	I. Evans	1954
2.	$f = 0.0165 + 0.0001 \cdot (V - 50)$	G. V. Maksapetian	1970
3.	$f = 0.86 \cdot \sqrt[3]{\frac{G_r}{k_{cv} \cdot D_o^2 \cdot b_o}}$ Para rueda metálica conducida	Grandvoine-Goriachkin (D. A. Chudakov)	1977

4.	$f = f_0 + K_f \cdot V^2$	J. A. Gregorie	1978
5.	$f = 0,006 + 0,23 \times 10^{-6} \cdot V^2$; neumático radial $f = 0,007 + 0,45 \times 10^{-6} \cdot V^2$; neumático diagonal	L. Segel	1984
6.	$f = f_o \cdot \left(1 + \frac{V^2}{1500}\right)$	V. A Ilarionov	1985
7.	$f = \frac{(32+V)}{2800}$		
8.	$P_r = C_{R2} \cdot (b_{11} \cdot n_r + C_{R1} \cdot (b_{12} \cdot \frac{G}{g} + b_{13} \cdot V^2))$		
9.	$f = f_0 + K_f \cdot V^2$; $K_f = 7 \cdot 10^{-6}$	A. S. Litvinov	1989
10.	$f = (0,0041 + 0,000041 \cdot V) \cdot Ch$; neumático radial $f = (0,0066 + 0,000046 \cdot V) \cdot Ch$; neumático diagonal	P. D. Cenek	1991
11.	$f = f_o \cdot (1 + V / 44.7)$	T. Gillespie	1992
12.	$f = (c_{r1} + c_{r2} \cdot V)$	M. Petterson	1996
13.	$P_r = 9.8066 \cdot f_o \cdot (c_{f1} \cdot v + c_{f2}) \cdot G / 1000$	Rakha, Lucic	2001
14.	$f = f_{iso} + 0.0000945 \cdot (V^2 - V_{iso}^2) - 0.0154 \cdot (V - V_{iso})$	T. Sandberg (Michelin)	
15.	$f = k_2 + k_3 \cdot V^n$	J. Y. Wong	
16.	$P_r = p_n \cdot R_y \cdot (a_r + b_r \cdot V + c_r \cdot V^2)$	K. J. Kelly	2002
17.	$f = G_r \cdot (0,04 + 1,2 / C_N)$	M. Saarilahti (Wisner&Luth 1973)	
18.	$f = G_r \cdot (0.017 + 0.453) \cdot N_{CI}$	M. Saarilahti (Maclaurin's 1990)	
19.	$f = 0.01 \cdot (1 + V / 100)$	M. Coyle (Gillespie 1999)	
20.	$f = f_o + 3.24 \cdot f_s \cdot (V / 100)^{2.5}$	M. Coyle (Institute of Technology in Stuttgart)	
21.	$f = f_o \cdot (1 + 6.5 \cdot 10^{-4} \cdot V^2)$	T. Georgiev	2003

Donde: D_o , b_o , h_o -Diámetro de la llanta, ancho y altura del perfil del neumático, respectivamente.

k_{cm} -Constante que depende del material de la rueda.

k_{cv} -Coeficiente de compresión volumétrica del suelo.

K_f -Coeficiente que toma en cuenta la dependencia de f con la velocidad.

C_{R1} , C_{R2} -Factores de resistencia a la rodadura de la rueda y de la superficie, respectivamente.

b_{11} , b_{12} , b_{13} - Parámetros del modelo matemático de Bigss

n_r –Número de ruedas.

N_{Cl} –Coeficiente que depende del índice de conicidad de los neumáticos.

C_h – Coeficiente según el tipo de superficie de apoyo.

$c_{r1'}$, $c_{r2'}$ – Coeficientes que dependen del tipo de neumático y la presión de inflado, respectivamente.

c_{f1} , c_{f2} –Coeficientes que dependen de la velocidad y del neumático.

f_{iso} – Coeficiente f , según ISO 9948, a la velocidad especificada por la norma (V_{iso}).

k_1 , k_2 –Coeficientes que dependen del tipo de neumático.

a_r , b_r , c_r – Coeficientes del modelo.

G_r –peso del remolque.

f_s – Coeficiente de resistencia a la rodadura que considera el efecto de la velocidad.

R_y – Carga que recae sobre la rueda.

p_n – Presión de inflado.

Con respecto a estas expresiones, se desechan aquellas que:

- Son específicas para ruedas metálicas o macizas.
- Las que son específicas para aplicaciones agrícolas o para un tipo determinado de neumático.
- Las que no toman en cuenta la velocidad, el tipo de neumático y el estado de la superficie de apoyo.
- Las que dependen de valores experimentales que no se encuentran en la literatura con la amplitud necesaria

Con fines prácticos, como quiera que se asume o se mide el coeficiente de resistencia al rodamiento para velocidades bajas (f_o), para después incluir el efecto de la velocidad en el mismo, la expresión más adecuada de f es la 9. Por tanto, P_c se expresa:

$$P_c = G \cdot (f + p) = G \cdot (f_o + k_f \cdot V^2 + p) = G \cdot \psi_o + G \cdot k_f \cdot V^2 ; (N) \quad (1.19)$$

Donde: $\psi_o = f_o + p$, factible de medir en experimentos de carretera con una 5ta rueda.

Las fuerzas aerodinámicas elementales que actúan en cada punto de la superficie de un vehículo, son diferentes en magnitud y dirección, por tanto, el conjunto de estas puede ser representado por la fuerza aerodinámica total. La proyección de esta en la dirección del movimiento, es la denominada **resistencia aerodinámica** (P_a); siendo la ecuación básica para su cálculo:

$$P_a = \frac{\rho}{2} \cdot C_D \cdot F \cdot V_r^2 ; (N) \quad (1.20)$$

Donde: V_r – velocidad relativa del vehículo respecto al aire, m/s.

ρ - densidad del aire, kg/m³

F - área frontal proyectada del vehículo en un plano perpendicular a la dirección del movimiento, m²

C_D –coeficiente de resistencia aerodinámica.

Las otras dos componentes de la resistencia aerodinámica: la componente lateral y la de sustentación, solo se utilizan para cálculos muy específicos.

La ecuación básica de la fuerza de resistencia aerodinámica, 1.20, aparece en muchos trabajos. En la tabla 1.5, se relacionan algunas de las formas más significativas que toma esta ecuación.

Tabla 1.5. Expresiones de la fuerza de resistencia aerodinámica.(Tomado de Pérez Gálvez, 2007)

	Expresión	Referencia	Año
1.	$P_a = \frac{13.44 \cdot 10^{-3} \cdot C_D \cdot F \cdot V^2}{T_{aire}}$	M. Cárdenas	2006
2.	$P_a = \rho_{nm} \cdot C_D \cdot C_H \cdot F \cdot V^2$ $C_H = 1 - 8.5 \cdot 10^{-5} \cdot H_{nm}$	H. Rakha	2004
3.	$P_a = (1,12 \div 1,38) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot C_D \cdot F \cdot V^2$ $\rho = 0,0566 + 1,225 \cdot (1 - 2,26 \times 10^{-5} \cdot H_{nm})^{4,225} - 0,00377 \cdot T_{aire} \cdot 1,1985$	V. Millo	2004
4.	$P_a = \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot C_{D(\theta)} \cdot F_{(\theta)}$	T. Muster	2000

Dónde: ρ_{nm} –densidad del aire al nivel del mar.

C_H –coeficiente de altitud

$C_{D(\theta)}$, $F_{(\theta)}$ –coeficiente de resistencia aerodinámica y área frontal proyectada, tomando en cuenta la dirección del viento

Pudiera parecer, que las expresiones de la tabla anterior difieren notablemente de la expresión 1.20, pero lo cierto es que representan el mismo fenómeno, sólo que en las expresiones 1, 2 y 3 se considera el carácter variable de la densidad del aire: con la temperatura (T_{aire}) y la altura sobre el nivel del mar (H_{nm}). Además, en 4 se considera el efecto de la dirección del viento. Debido a que la expresión 3 considera el mayor número de factores, es que se elige para los cálculos a desarrollar en esta investigación. De tal modo la nueva expresión queda:

$$P_a = (1,12 \div 1,38) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot C_D \cdot F \cdot v^2 = K_{aer} \cdot V^2; \text{ (N)} \quad (1.21)$$

Dónde: K_{aer} es un coeficiente aerodinámico que toma en cuenta además de la forma aerodinámica del vehículo, el área frontal del vehículo, los efectos del cambio de la dirección del viento en la magnitud de P_a y las condiciones climáticas en que se realiza la evaluación, las cuales definen el valor de ρ . Debido a que en la práctica, existe un ángulo entre la dirección del movimiento y la dirección del viento, se recomienda incrementar el valor de C_D entre un 12 y un 38% (Bennet, 2001), siendo los menores valores en autos ligeros y los mayores en camiones articulados. En este incremento está incluida la influencia de la velocidad relativa del aire, por lo que se puede usar entonces en la ecuación anterior la velocidad de movimiento del vehículo y no la velocidad relativa.

El área frontal proyectada también puede calcularse, si no se conoce el dato del fabricante, con ecuaciones aproximadas, o puede ser hallada por medios experimentales. En muchos textos de dinámica vehicular se propone la siguiente ecuación (Wong, 2001; Bennet, 2001; Georgiev, 2003; Cárdenas, 2006; entre otros): $F = m_a \cdot B \cdot H$, en m^2

Donde: m_a – es un coeficiente de aprovechamiento del área, que en el caso de los vehículos pesados oscila entre 0.9-1.

B, H –son respectivamente la vía y altura máxima del vehículo, m

Cuando un vehículo transita por una curva, las ruedas se deforman una cantidad finita, dando lugar a un pequeño ángulo de deriva entre la dirección del movimiento y la dirección de la rueda, es decir, entre el eje de simetría de la huella de la rueda y la proyección del plano de simetría vertical de la rueda en el plano horizontal. Debido a ello se genera en el vehículo una fuerza en contra del movimiento que se denomina **Resistencia a las curvas**. Esta resistencia se ha demostrado (Bennet, 2001) que es proporcional a la fuerza lateral aplicada a la rueda (R_z) y al ángulo de deriva (θ_d). Para pequeños valores de ángulo de deriva, la ecuación para calcular la resistencia a las curvas de un vehículo es, de forma aproximada: $P_{cur} = R_z \cdot \theta_d \cdot n_r$ (1.22)

Para las condiciones típicas de movimiento en las curvas, se puede considerar la fuerza lateral proporcional a la rigidez de deriva (C_d), y a pequeños ángulos de deriva (Gillespie, 2001; Fukuhara, 2008): $R_z = C_d \cdot \theta_d$

Resolviendo para pequeños ángulos de deriva, con radio de la curva medido con respecto al centro

$$\text{del puente trasero (R) y peralte de la vía } (\beta). \quad P_{cur} = \frac{[G \cdot V^2 / (g \cdot R) - G \cdot \beta]^2}{C_d \cdot n_r} \quad (1.23)$$

La resistencia a las curvas se presenta ocasionalmente, pues la mayor parte del tiempo se transita por vías rectas. En parte, su efecto en la resistencia sumaria puede quedar registrado en un sistema de medición de los coeficientes de resistencia al camino. Además, esta resistencia depende de un número de factores no disponibles a la hora de ejecutar un modelo, razones por las cuales, es opcional su consideración dentro de los mismos.

La fuerza de tiro (P_{gan}), surge debido a la acción del remolque arrastrado, y se compone de las resistencias a la rodadura (P_{rr}), inclinación (P_{ar}), inercia (P_{ir}) y aerodinámica (P_{ar}) del remolque.

$$P_{gan} = P_{rr} + P_{ar} + P_{ir} + P_{ar}; \quad (N) \quad (1.24)$$

La resistencia aerodinámica del remolque no se calcula independientemente, sino que se considera incrementando la del vehículo tractor en un 25%, 44% y 55%, en dependencia de que existan 1, 2 o 3 remolques. Bennet (2001), considera sólo el incremento del 10%, pero se considera más acertado el primer criterio, porque establece diferenciación con respecto al número de remolques y porque nos coloca del lado seguro. Partiendo de ello, la ecuación general de las resistencias en el gancho quedaría como:

$$P_{gan} = G_r \cdot \sin \alpha + G_r \cdot (f_o + K_f \cdot V^2) \cdot \cos \alpha + \frac{G_r}{g} \cdot \delta_r \cdot \frac{dV}{dt} \quad (1.25)$$

Ya que las únicas masas en rotación del remolque son las ruedas, en su caso el coeficiente de las

masas reducidas en el remolque (δ_r) se determina según: $\delta_r = 1 + \frac{g}{G_r \cdot r_{dr}^2} \cdot \sum I_r$

dónde: $\sum I_r$ y r_{dr} representan la suma de los momentos de inercia y el radio dinámico de sus ruedas.

La fuerza tractiva (P_{tx}), 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 producen durante el movimiento en las condiciones dadas. Su magnitud se calcula según:

$$P_{tx} = \frac{M_r}{r_d} = \frac{M_{ex} \cdot \eta_o \cdot \eta_s}{r_d \cdot i_{ci}}; \quad (N) \quad (1.26)$$

Donde: M_r –momento aplicado a la rueda motriz, N.m

η_o, η_s –eficiencia mecánica de la transmisión y eficiencia al patinaje del vehículo.

r_d –radio dinámico de la rueda del vehículo, m

i_{ci} –relación de transmisión total

Para los cálculos prácticos, en condiciones normales de movimiento $\eta_s \approx 0,98 - 1$.

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:

$$P_{tx} - P_r - P_\alpha - P_i - P_a - P_{gan} = 0 \quad (1.27)$$

Partiendo de la ecuación 1.27, y sustituyendo en esta las ecuaciones correspondientes a cada una de las resistencias, se obtiene **la ecuación fundamental del movimiento** (vehículo con remolque y acelerado en una vía con pendiente):

$$P_{tx} = (G + G_r) \cdot (f_0 + K_f \cdot V^2) \cdot \cos \alpha + (G + G_r) \cdot \sin \alpha + \left(\frac{G}{g} \cdot \delta + \frac{G_r}{g} \cdot \delta_r \right) \cdot \frac{dV}{dt} + 1.25 \cdot K_{aer} \cdot V^2 \quad (1.28)$$

Algunos autores (Litvinov, 1989; Johansson, 2005; Jazar, 2008), partiendo de la ecuación 1.27, y despejando en función de la aceleración, definen la denominada **ecuación general del movimiento**:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P_{tx} - (G + G_r) \cdot (f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) - P_a}{\frac{G \cdot \delta_i}{g} + \frac{G_r \cdot \delta_r}{g}} \quad (1.29)$$

Si se define el factor dinámico (D) como: $D = \frac{P_{tx} - P_a}{G + G_r}$, y δ_z como el coeficiente de masas reducidas

del conjunto vehículo-remolque, entonces se puede plantear **la ecuación adimensional del**

movimiento como: $\frac{1}{g} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{1}{\delta_z} \cdot (D - \Psi)$ (1.30)

La posibilidad de un vehículo de vencer las resistencias sumarias al movimiento (P_{trec}) 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}), para vencer la resistencia sumaria al movimiento de la máquina automotriz (P_{trec});
2. La fuerza de adherencia (P_μ) existente entre rueda-superficie de apoyo. De tal forma, la **condición del movimiento** se expresa por: $P_{trec} \leq P_{tx} \leq P_\mu$

En vías con elevado valor del coeficiente de adherencia (μ), se considerará la P_{trec} como la limitante principal de la dinámica del vehículo.

1.4.-La velocidad mínima de movimiento estable. Resultados obtenidos en su determinación.

En muchos cálculos de ingeniería, en la esfera del transporte automotor, se precisa definir el rango de trabajo del motor durante el movimiento del vehículo, para utilizarlo en cálculos dinámicos, de consumo y en la determinación de la característica exterior de velocidad del motor, la característica tractiva del vehículo y los indicadores fundamentales que se derivan de la misma. Existen criterios establecidos para la definición de la frecuencia de rotación máxima, tanto para motores de gasolina como diesel, no siendo así para la frecuencia de rotación mínima en movimiento estable, que se designa como $W_{\min}$.

La $W_{\min}$ es la frecuencia de rotación que garantiza el movimiento estable de la máquina automotriz en cada marcha. Para garantizar el trabajo estable del vehículo, a velocidad constante o variable, venciendo las resistencias existentes al movimiento, es necesario que la frecuencia de rotación del motor $W \geq W_{\min}$. Del concepto de $W_{\min}$ se desprende el de velocidad mínima estable del vehículo en una marcha determinada ($V_{\min}$), a partir de las conocidas relaciones que se establecen entre ambas magnitudes. Su determinación experimental se realiza bajo condiciones viales concretas, preferiblemente en polígonos de ensayo, en los cuales el vehículo alcanza cierta velocidad mínima límite, por debajo de la cual su movimiento se torna inestable. En muchos casos, cuando se requiere conocer la velocidad mínima estable para la determinación de cualidades dinámicas, de consumo y otras, y no es posible determinarla experimentalmente por razones de costo, recursos materiales y humanos o por la propia inexistencia física del vehículo, se hace necesario definir criterios, que posibiliten su determinación teórica. (Pérez Gálvez, Fuentes Vega, Cogollos Martínez y Toledo Dorrego, 2007)

En su trabajo doctoral Pérez Gálvez (2007) propuso primeramente un método novedoso de determinación de la eficiencia mecánica de la transmisión (η_o), que después aplicaría en la expresión propuesta para la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable. La expresión de la eficiencia, considera la incidencia en la misma de la carga, la velocidad de movimiento, el tipo de transmisión y la marcha conectada.

$$\eta_o = \chi - \frac{(2 + 0.09 \cdot V) \cdot G \cdot r_d \cdot i_{ci} \cdot 10^{-3}}{M_e} \quad (1.31)$$

Dónde: $\chi = 0.98^k \cdot 0.97^l \cdot 0.995^m \cdot 0.997^n$ (1.32)

k, l, m, n – indicadores que corresponden al número de engranajes cilíndricos y cónicos que transmiten potencia, el número de cardanes que transmiten carga y el número de cojinetes

accionados en el sistema de transmisión, respectivamente.

Con máximo suministro de combustible: $M_e = M_{ex} = P_{tx} \cdot r_d \cdot i_{ci}$

A cargas parciales: $M_e = M_{enec} = P_{trec} \cdot r_d \cdot i_{ci}$

En la [tabla 1 del Anexo](#), se incluyen valores de los coeficientes k, l, m y n en dependencia de las características de la transmisión y la marcha conectada la cual facilita la determinación de la eficiencia.

En el caso de la velocidad mínima de movimiento estable, se parte de la ecuación adimensional del

$$\text{movimiento: } \frac{dV}{dt} = \frac{1}{\delta_i} \cdot (D - \psi) \quad (1.33)$$

$$\text{Como se conoce: } D = \frac{P_{tx} - P_a}{G} = \frac{\frac{M_{ex} \cdot \eta_o \cdot \eta_s}{r_d \cdot i_{ci}} - K_{aer} \cdot V^2}{G} \quad (1.34)$$

Como se trata de velocidad constante, la aceleración es cero. Por tal razón: $D - \psi = 0$, o lo que es lo mismo: $D = \psi$. (1.35)

O sea, en un gráfico de D vs V, la ordenada indica también el valor de ψ ([Fig. 1.4.a](#)). A partir de datos experimentales de $V_{\min}$ se pretende obtener una dependencia $\psi = f(V)$, de forma que $D(V) - \psi(V) = 0$ proporcione una ecuación en función de la velocidad, de donde pueda obtenerse la $V_{\min}$. Sustituyendo [1.34](#) en [1.35](#) y sustituyendo la expresión de la eficiencia mecánica de la transmisión, se obtiene, después de algunas transformaciones:

$$\frac{\chi \cdot \left(M_{eN} \cdot C_1 + \frac{M_{eN} \cdot C_2}{V_{Ni}} \cdot V_{\min} - \frac{M_{eN} \cdot C_3}{V_{Ni}^2} \cdot V_{\min}^2 \right)}{G \cdot r_d \cdot i_{ci}} - (2 + 0.09 \cdot V_{\min}) \cdot 10^{-3} - \frac{K_{aer} \cdot V_{\min}^2}{G} = \psi_i \quad (1.36)$$

Con los valores experimentales de $V_{\min}$ reportados en la literatura, especificados para diferentes vehículos en cada una de sus marchas, se sustituye en [1.36](#) y se determina para cada uno el valor de ψ_i . Con el conjunto de valores de ψ_i se encuentra la dependencia $\psi = f(V)$, que caracterizará la población de vehículos pesados de transmisión mecánica. En la [Figura 1.4.b](#) se muestra la dependencia $\psi = f(V)$, la cual se corresponde con un Modelo Recíproco:

$$\psi_i = \frac{1}{(3.7515 \cdot V_{\min} + 0.4147)} \quad (1.37)$$

Sustituyendo 1.37 en 1.36 y agrupando, se obtiene finalmente la expresión para determinar $V_{\min}$:

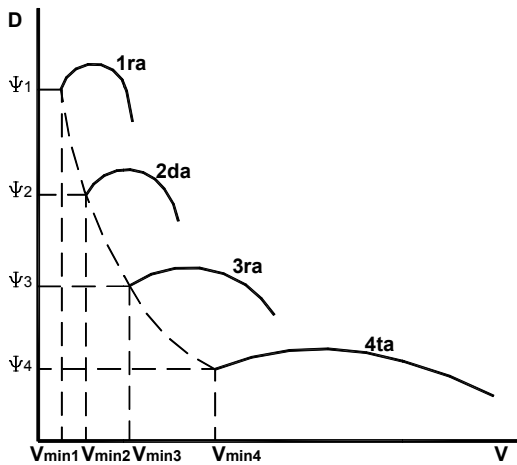
$$a_v \cdot V_{\min}^3 + b_v \cdot V_{\min}^2 + c_v \cdot V_{\min} + d_v = 0 \quad (1.38)$$

$$a_v = -\frac{3.7515}{G} \cdot \left(\frac{M_{eN} \cdot C_3 \cdot \chi}{r_d \cdot i_{ci} \cdot v_N^2} + K_{aer} \right); \quad d_v = 0.4147 \cdot \left(\frac{M_{eN} \cdot C_1 \cdot \chi}{G \cdot r_d \cdot i_{ci}} - 2 \cdot 10^{-3} \right) - 1$$

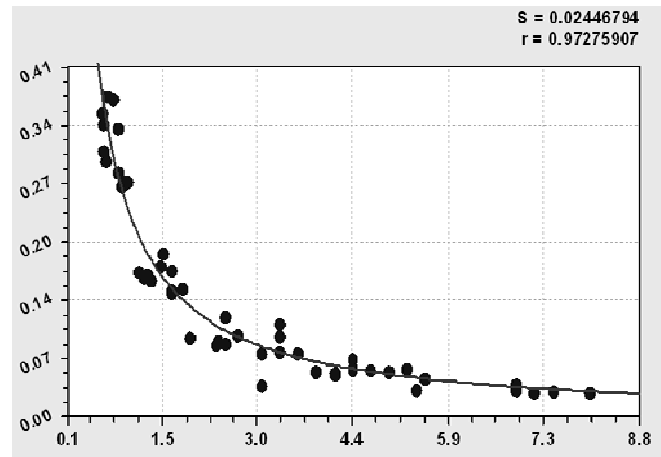
$$b_v = 3.7515 \cdot \left(\frac{M_{eN} \cdot C_2 \cdot \chi}{G \cdot r_d \cdot i_{ci} \cdot v_N} - 9 \cdot 10^{-5} \right) - \frac{0.4147}{G} \cdot \left(\frac{M_{eN} \cdot C_3 \cdot \chi}{r_d \cdot i_{ci} \cdot v_N^2} - K_{aer} \right);$$

$$c_v = 3.7515 \cdot \left(\frac{M_{eN} \cdot C_1 \cdot \chi}{G \cdot r_d \cdot i_{ci}} - 2 \cdot 10^{-3} \right) + 0.4147 \cdot \left(\frac{M_{eN} \cdot C_2 \cdot \chi}{G \cdot r_d \cdot i_{ci} \cdot v_N} - 9 \cdot 10^{-5} \right);$$

$$K_{aer} = (1.12 - 1.38) \cdot \frac{\rho_a}{2} \cdot C_x \cdot F = K \cdot F$$



(a)



(b)

Fig. 1.4 Dependencia de $\psi = f(V)$: enfoque teórico (a) y determinación experimental (b).

La expresión 1.38, si bien brinda resultados adecuados y constituye un paso de avance, pues posibilita la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable con fundamentos científicos, tiene como dificultad, las siguientes:

- Es una ecuación de 3er grado, razón por lo cual se dificulta la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable, pues hay que recurrir a software especializados o determinarla por métodos aproximados, que reducen su exactitud.
- Si bien algunos análisis teóricos demostraron que la menor velocidad mínima de movimiento estable se obtiene para característica exterior de velocidad, la práctica no concuerda con ello.

- La base de datos experimental utilizada es de 9 vehículos, tomando los valores de velocidad mínima en cada una de sus marchas. De ser posible, ampliar la base de datos experimental, proporcionaría resultados de mayor confiabilidad.
- Si bien la ecuación 1.37 se determina con un grado alto de exactitud ($r= 0.97$ y $s=0.024$), no es menos cierto que no es la ecuación definitiva, pues debe sustituirse en la expresión 1.36, obtenida teóricamente, para por despeje determinar la expresión definitiva de la velocidad mínima de movimiento estable. Esto le resta exactitud a los resultados.
- Como la expresión es cúbica, brinda 3 resultados, de los cuales hay que escoger el adecuado, en ocasiones 2 de ellos no son números reales.

Por tales razones, es que se estimó conveniente continuar trabajando en el perfeccionamiento de los resultados de Pérez Gálvez, con una base de datos experimentales mayor, y en la determinación de una expresión, más sencilla, que brindara resultados confiables. Esto sin desconocer la importancia del aporte que representó la determinación de la expresión 1.38.

Dado que cualquier análisis teórico va a conducir a una expresión compleja, Del Sol Morales (2014), opta por establecer dependencias funcionales con respecto a parámetros de conocida incidencia en la capacidad de movimiento de la máquina automotriz, entre los cuales seleccionó los siguientes:

- La potencia específica.
- La relación de transmisión total
- Los índices de elasticidad del motor
- El rango de relaciones de transmisión de la caja de velocidad
- El radio dinámico
- El torque máximo

Se realizaron combinaciones lógicas de estos parámetros, determinando la correlación que se obtenía en cada caso, con una base de datos experimentales de velocidad mínima de movimiento estable. Se logró una profundizando en la búsqueda de los datos de los vehículos implicados en la misma, logrando ampliar la base de datos de 9, utilizados en el trabajo de Pérez Gálvez, a 19 vehículos pesados. Esta base de datos consta de vehículos pesados de diferente tipo (camiones, camiones cuña, ómnibus), con variados parámetros de salida, con 4 o 5 marchas experimentales, lo que arroja un alto número de puntos, que se utilizaron en el cálculo y procesamiento.

En tal sentido, la dependencia que mejores resultados arrojó es la siguiente:

$$V_{\min} = f\left(\frac{N_g \cdot eM}{r_d \cdot e n \cdot i_{ci}}\right) \quad (1.39)$$

Los resultados fueron procesados con el software Curve Expert, para determinar el modelo que mejor se ajusta a los resultados, que en este caso fue el Modelo Recíproco:

$$y = \frac{1}{a \cdot x + b} \quad (1.40)$$

Dónde: $a = 0.11167152$
 $b = 0.0095450659$

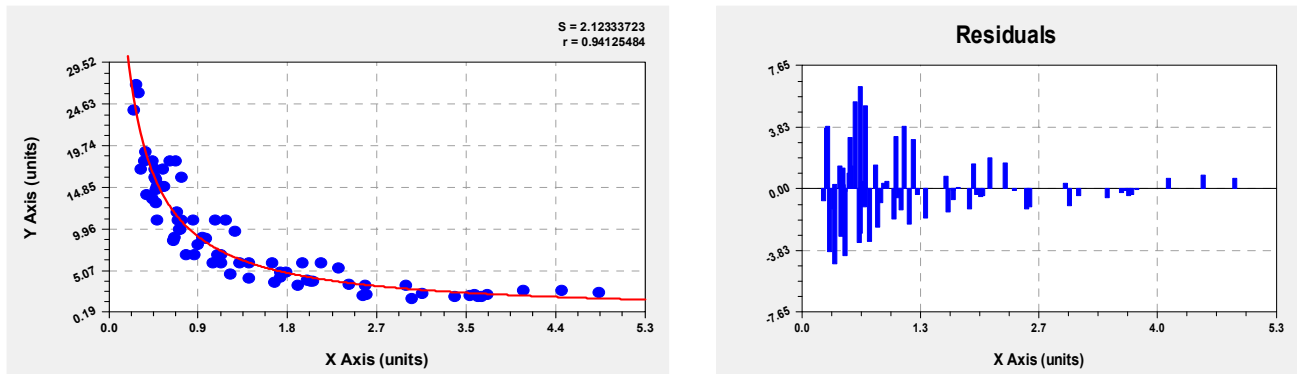


Fig. 1.5. Resultados del procesamiento de la relación $V_{\min} = f(N_{\gamma} \cdot e_M / r_d \cdot e_n \cdot i_{ci})$

La dependencia propuesta, posee una base de datos mayor, es mucho más sencilla y es una dependencia directa, la cual queda como sigue:

$$V_{mini} = \frac{1}{a \cdot \left(\frac{10^2 \cdot N_{\gamma} \cdot e_M}{i_{ci} \cdot e_n \cdot r_d} \right) + b} \quad (1.41)$$

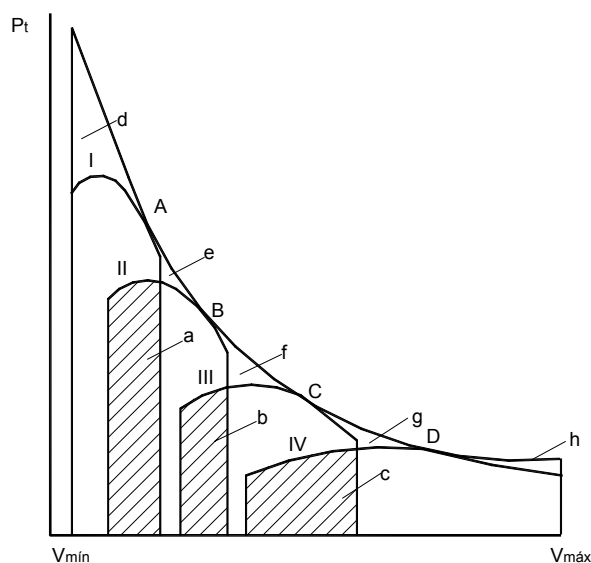
Obtenida esta correlación entre la velocidad mínima de movimiento estable experimental con los parámetros seleccionados, se comprobaron los resultados que arrojó en la determinación de la velocidad mínima, en una base de datos amplia de vehículos pesados.

En este trabajo se utilizaron erróneamente los datos experimentales de velocidad mínima de movimiento estable en km/h, cuando debieron llevarse a m/s. En el mismo no se valoró adecuadamente el caso de 3 vehículos, cuyos datos experimentales estaban referidos a 5 marchas, cuando ellos en realidad tienen 10 marchas y de 3-4 posibilidades diferentes de relaciones de transmisión principal. El texto donde aparecen los datos experimentales, no ofrece información al respecto y 3 vehículos tienen un peso grande dentro del parque pequeño analizado. Estos dos aspectos incidieron en los resultados del trabajo.

1.5.-Los coeficientes que evalúan la relación motor-sistema de transmisión. Definición y resultados de estudios precedentes.

1.5.1.- Introducción.

En la [figura 1.6](#) se muestra la característica tractiva de un vehículo de 4 marchas, cuyo sistema de transmisión no posee conjuntos con patinaje continuo y la característica ideal correspondiente. En ella se señala el solape entre marchas (a, b y c) y las áreas de ausencia de potencia (d, e, f, g y h).



Las áreas de ausencia de potencia nos muestran, desde la $V_{\min}$ en 1ra marcha hasta la $V_{\max}$ en marcha superior, en qué medida la característica tractiva real se adecua a la ideal. Mientras menores sean las áreas de ausencia de potencia, mejores cualidades dinámicas tendrá el vehículo, pues el conjunto fuente energética-sistema de transmisión se aproxima más a lo ideal.

Figura 1.6. Característica tractiva e ideal de un vehículo de 4 marchas.

La magnitud de estas áreas depende, entre otros factores, del número y de los valores de las relaciones de transmisión, de la elasticidad del motor y de la frecuencia de rotación mínima estable en 1ra marcha y de las frecuencias de rotación máximas en cada marcha. Cuando el número de relaciones de transmisión en la caja de velocidad aumenta, disminuyen las áreas de ausencia de potencia, pero puede hacerse más compleja la conducción del vehículo. El valor de las áreas de ausencia de potencia, es un indicador de la correcta selección del conjunto motor-sistema de transmisión para el vehículo. En el caso del área de ausencia de potencia de 1ra marcha (marcada como d en la figura), tiene gran incidencia en el área sumaria de ausencia de potencia y depende en gran medida de la velocidad mínima estable en esa marcha.

El solape entre marchas, muestra el rango de valores de velocidad que corresponden a dos marchas consecutivas. El solape depende de los valores de la relación de transmisión total y de la velocidad mínima estable en cada marcha, y de la velocidad máxima en la marcha precedente, con excepción de la 1ra marcha. Sin solape no es posible el cambio de marcha y valores pequeños dificultan extraordinariamente el mismo. Cuando el solape es amplio, los cambios de marcha se producen con

facilidad y suavidad, aumentando el confort durante la conducción del vehículo y mejorando sus cualidades dinámicas.

La selectividad es un concepto menos conocido y poco tratado en la literatura. Se define como la capacidad del conjunto motor-sistema de transmisión de brindar cobertura a las diferentes condiciones de carga con efectividad, es decir, con mayor velocidad y adecuado coeficiente de aprovechamiento de la potencia. Tiene gran incidencia en las cualidades dinámicas y de consumo de la máquina automotriz.

A continuación se analiza el concepto de selectividad (Fig. 1.7), a partir de las características tractivas de dos vehículos iguales, pero uno posee una caja de velocidad con 4 marchas (a) y el otro con 3 marchas (b). Ambos poseen igual $P_{txm\acute{a}x}$ e igual $V_{m\acute{a}x}$, o sea, sus relaciones de transmisión de 1ra marcha y marcha superior son iguales. Esta característica se ha trazado en coordenadas D vs V para poder representar la carga a través de ψ . Como podemos apreciar, para unas condiciones viales representadas por ψ_1 , el vehículo (a) puede transitar en 2da marcha a una velocidad máxima V_1 , mientras el vehículo (b), para esas mismas condiciones de carga, transita en 1ra marcha a una velocidad $V_1 > V_2$. Igual análisis pudiéramos realizar si las condiciones viales vinieran dadas por ψ_2 , pues como observamos el vehículo (b) puede transitar a una velocidad V_4 , mientras el (a) lo hace a velocidad V_3 , siendo $V_3 > V_4$.

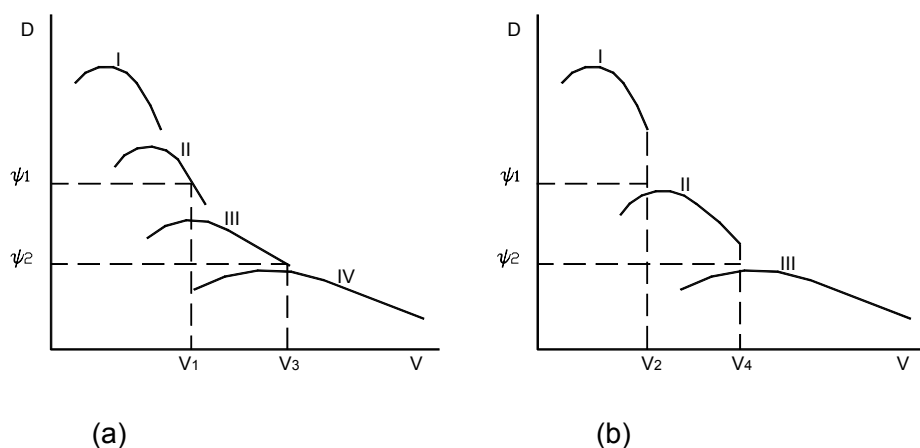


Fig. 1.7 Esquema que explica la importancia de la selectividad de marchas.

Los sistemas de transmisión que poseen conjuntos hidrocínicos tienen gran solape, escasas áreas de ausencia de potencia y una gran selectividad, lo cual garantiza, entre otros aspectos, sus altas cualidades dinámicas.

Si bien en la literatura se hace mención al solape y a las áreas de ausencia de potencia y en menor medida a la selectividad del conjunto motor-sistema de transmisión, no es hasta el desarrollo del trabajo de V. Millo (2003), que se realiza una propuesta de los indicadores para evaluarlos. Estos

indicadores sufren modificación con el trabajo de Pérez Gálvez (2007), al introducir en su determinación los criterios de eficiencia mecánica de la transmisión y de la velocidad mínima de movimiento estable, alterando los rangos de variación de los mismos.

1.5.2.- El área de ausencia de potencia

El área de ausencia de potencia, puede calcularse como el área total bajo la curva de la característica ideal ($A_{ptideal}$), o sea, el área bajo la curva de la hipérbola de máxima potencia, comprendida entre la velocidad mínima estable en la primera marcha y la velocidad máxima, menos el área sumaria de las curvas reales que representan cada marcha ($\sum_{i=1}^m A_{Fti}$), desde la primera hasta la marcha superior m.

Por tal razón, en el caso de las áreas de ausencia de potencia se propone como indicador, el **coeficiente de aprovechamiento del área ideal** (S_a).

$$S_a = (A_{real} / A_{ideal}) \cdot 100 \quad (1.42)$$

Dónde: A_{real} - es el área sumaria bajo las curvas reales

A_{ideal} - es el área bajo la curva de fuerza tractiva ideal

$$A_{real} = \int_{V_{min I}}^{V_{max I}} P_{tx I} \cdot dV - \int_{V_{max I}}^{V_{max II}} P_{tx II} \cdot dV - \int_{V_{max II}}^{V_{max III}} P_{tx III} \cdot dV - \dots - \int_{V_{max i-1}}^{V_{max i}} P_{tx i} \cdot dV \quad (1.43)$$

Dónde: P_{txi} , P_{txI} , P_{txII} ...- son las fuerzas tractivas en las marchas i, 1ra, 2da,...

El área bajo la curva ideal se determina según:

$$\int_{V_{min I}}^{V_{max MS}} P_{tideal} \cdot dV = \int_{V_{min I}}^{V_{max MS}} \frac{N_{emáx} \cdot \eta_o \cdot 10^3}{V} \cdot dV \quad (1.44)$$

La solución de la integral es:

$$\int_{V_{min I}}^{V_{max MS}} P_{tideal} \cdot dV = \left[(10^3 \cdot \chi \cdot N_{emáx}) - (2 \cdot G) \right] \cdot \log \frac{V_{max MS}}{V_{min I}} - 0.09 \cdot (V_{max MS} - V_{min I}) \quad (1.45)$$

Aquí la velocidad máxima en marcha superior (V_{max}) y la velocidad mínima estable de movimiento en la primera marcha (V_{minI}) se expresan respectivamente por:

$$V_{max MS} = W_{max} \cdot r_d \cdot i_{cMS} ; \quad V_{min I} = W_{min I} \cdot r_d \cdot i_{cI}$$

El área bajo las curvas reales se determina de la forma siguiente (en este caso se ejemplifica con la primera marcha, pues la solución de las restantes es semejante, con límites de integración diferentes):

$$\int_{V_{\min I}}^{V_{\max I}} P_{txI} \cdot dV = \int_{V_{\min I}}^{V_{\max I}} \frac{M_{ex} \cdot \eta_o}{r_d \cdot i_{cI}} \cdot dV \quad (1.46)$$

La solución de la integral:

$$\int_{V_{\min I}}^{V_{\max I}} P_{txI} \cdot dV = \frac{M_{eN} \cdot \chi}{r_d \cdot i_{cI}} \cdot \left[C_1 \cdot (V_{\max I} - V_{\min I}) + \frac{C_2}{2 \cdot V_N} \cdot (V_{\max I}^2 - V_{\min I}^2) - \frac{C_3}{3 \cdot V_N^2} \cdot (V_{\max I}^3 - V_{\min I}^3) \right] - G \cdot 10^3 \cdot \left[2 \cdot (V_{\max I} - V_{\min I}) + 0.09 \cdot (V_{\max I}^2 - V_{\min I}^2) \right] \quad (1.47)$$

Sin duda, la inexistencia de un criterio confiable de determinación de la velocidad mínima de movimiento estable, es lo que impidió la propuesta de estos coeficientes en la literatura, por la gran incidencia de la velocidad mínima de movimiento estable en 2 de los 3 coeficientes.

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos para el coeficiente de aprovechamiento del área ideal por diferentes investigadores:

Tabla 1.6 Resultados obtenidos en la determinación del coeficiente de aprovechamiento del área ideal.

Tipo de vehículo	Aprovechamiento del área ideal, %					
	Aragón	Litvinov	Ilarionov	Tablas	Pérez G.	Del Sol
Camiones diesel	42-73	40-74	42-73	41-74	67-75	65-97.8
Vehículos pesados	-	-	-	-	52-75	65-97.8
Camiones gasolina	-	-	-	-	-	72.7-87.3
Promedio	-	-	-	-	-	83.26

Las 4 primeras columnas son los resultados obtenidos por Millo (2003) al resolver las ecuaciones propuestas, partiendo de la determinación de los coeficientes C_1 , C_2 y C_3 por diferentes vías. Pérez Gálvez (2007), modifica los rangos al introducir las expresiones de velocidad mínima de movimiento estable y eficiencia de la transmisión. Del Sol Morales (2014), introduce su nueva versión de determinación de la $V_{\min}$, pero el límite superior le da muy alto en un grupo de 5 grandes camiones con 8-10 marchas.

Del Sol estableció la dependencia del coeficiente de aprovechamiento del área ideal con parámetros del vehículo, lo cual es más adecuado desde el punto de vista de la evaluación vehicular, es decir,

proponer una dependencia que establezca un límite entre los vehículos de mayor y menor calidad, desde el punto de vista dinámico. Llegó a la conclusión de que la dependencia más adecuada es:

$$S_a = f\left(\frac{N_{em\acute{a}x} \cdot E}{V_{m\acute{a}xms}}\right) \quad (1.48)$$

Con esta dependencia se obtiene un modelo cuadrático, con las siguientes características:

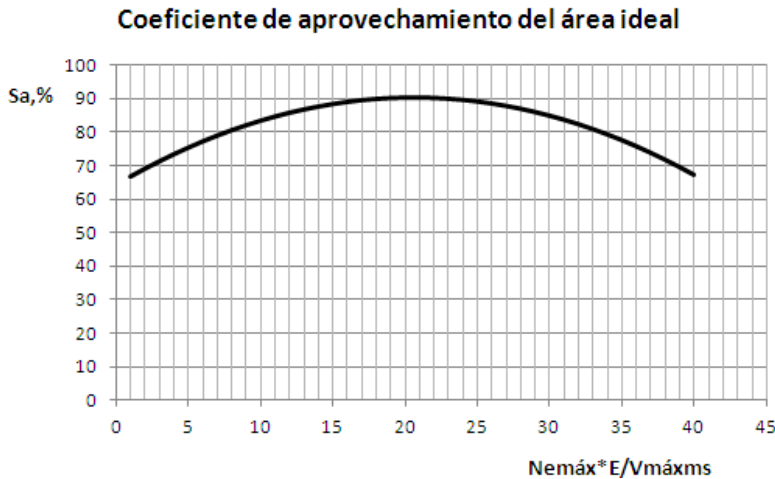


Fig. 1.8 Dependencia de $S_a =$

$$f\left(\frac{N_{em\acute{a}x} \cdot E}{V_{m\acute{a}xms}}\right)$$

Cuadraticfit:	$y = a + bx + cx^2$
Donde:	a = 60.703972
	b = 2.4804259
	c = -0.062255471
	S= 3,61656432
	r= 0.78715777

1.5.3.- El solape entre marchas

Para el solape entre marchas se propuso como indicador el **coeficiente de recubrimiento** (S_o), que no es más que la relación entre la suma de los rangos de velocidades que se solapan en cada marcha ($\sum \Delta V$) y la suma de los rangos de variación de las velocidades en cada marcha para ese vehículo ($\sum \Delta v_T$):

$$S_o = \sum \Delta V / \sum \Delta V_T = \sum_{i=2}^m (v_{\max i-1} - v_{\min i}) / \sum_{i=1}^m (V_{\max i} - V_{\min i}) \quad (1.49)$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados comparativos obtenidos.

Tabla 1.7 Resumen de los resultados obtenidos con el coeficiente de recubrimiento.

Tipo de vehículo	Coeficiente de recubrimiento, %					
	Aragón	Litvinov	Ilarionov	Tablas	Pérez G.	Del Sol
Camiones diesel	85-320	80-382	85-320	86-344	30-58	14.52-71.5
Vehículos pesados	-	-	-	-	30-98	-
Promedio	-	-	-	-	-	41.46

Pérez Gálvez logra valores más cercanos a la realidad que Millo y estrecha considerablemente los límites de variación del coeficiente. Del Sol, reduce el límite inferior y amplía el superior, con respecto

a los resultados obtenidos por Pérez Gálvez. Pérez Gálvez obtiene valores del 98%, lo cual resulta bastante improbable, pues implica que las curvas de fuerza tractiva estén casi completamente superpuestas entre una marcha y la siguiente. Los resultados bajos obtenidos por Del Sol, se deben a 4 vehículos que obtienen valores del coeficiente entre 10 y 20%, dos de ellos muy próximos a 20, pero como puede notarse el promedio es de 41.46%, que cae dentro el rango de Pérez Gálvez. En resumen, 62 vehículos de 74 totales (84%), poseen coeficientes entre 30 y 71.5%, lo cual es adecuado, teniendo en consideración que la base de datos de vehículos se ha ampliado notablemente y que existe la posibilidad de errores en las bases de datos.

Con respecto a la definición de una dependencia con respecto a parámetros del vehículo, Del Sol plantea que la tarea le resultó difícil, pues existen relativamente pocos parámetros con probada incidencia en la magnitud de S_o . Fue preciso evaluar por separado los vehículos pesados de gasolina de los diesel, debido a la gran dispersión que se presentaba, obteniéndose los siguientes resultados:

Para los vehículos pesados diesel, se obtuvo el modelo recíproco cuadrático, como el de mayor ajuste, para la dependencia:

$$S_o = f(e_n) \quad (1.50)$$

Donde e_n - es el coeficiente de elasticidad de frecuencia de rotación.

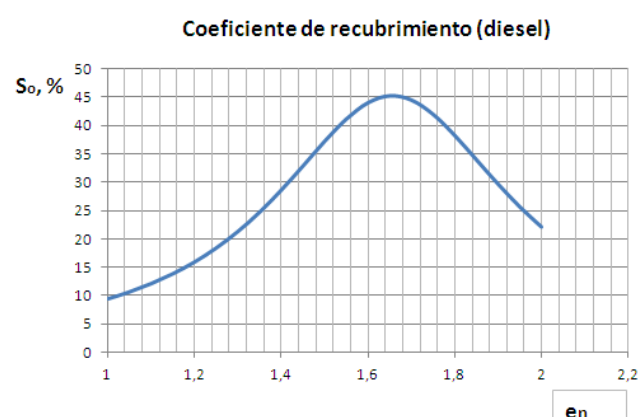


Fig. 1.9 Dependencia $S_o = f(e_n)$ para vehículos pesados diesel.

Reciprocal Quadratic:	$y = \frac{1}{(a + bx + cx^2)}$
Donde:	$a = 0.55948099$
	$b = -0.64890972$
	$c = 0.19590074$
	$S = 3,46$
	$r = 0.7523$

Para los vehículos pesados de gasolina, se obtuvo también el modelo recíproco cuadrático como el de mayor ajuste, para igual dependencia: $S_o = f(e_n)$

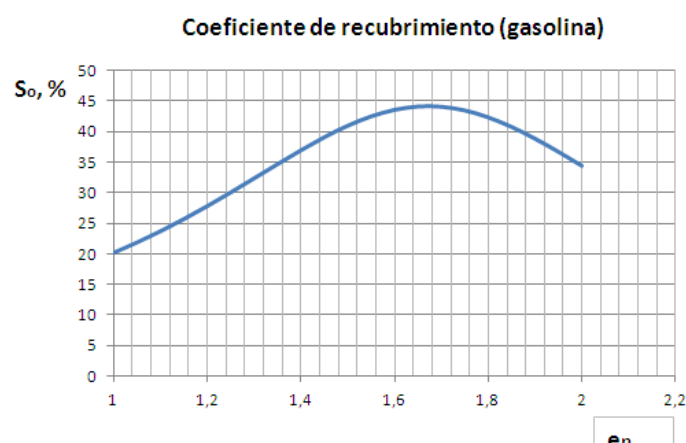


Fig. 1.10 Dependencia $S_o = f(e_n)$ para vehículos pesados de gasolina.

Reciprocal Quadratic:	$y = \frac{1}{(a + bx + cx^2)}$
Donde:	$a = 0.18970337$
	$b = -0.19982647$

	c = 0.059759725
	S= 2.89
	r= 0.7703

La dependencia es lógica, pues el coeficiente de recubrimiento depende mucho del rango de frecuencias de rotación del motor, y este queda definido en parte en e_n . Como puede observarse de las [figuras 1.9 y 1.10](#), si bien los valores máximos de ambas curvas coinciden, están corridos los puntos de partida y de culminación de ambas curvas, y estas responden a modelos iguales pero con diferentes coeficientes, lo que aseguraba una gran dispersión cuando se valoraban juntos los vehículos pesados diesel y de gasolina. Aún así el valor de r es relativamente pequeño.

1.5.4.- La selectividad de marchas.

En el caso de la selectividad, se define el **coeficiente de selectividad**, como el aprovechamiento de las posibilidades tractivas entre el rango de fuerza tractiva:

$$S_e = \frac{(P_{tx \max I} - P_{tv \max MS}) - \sum_{i=2}^m (P_{tv \max i-1} - P_{tx \max i})}{P_{tx \max I} - P_{tv \max MS}} \cdot 100 \quad (1.51)$$

Donde: $P_{tv \max MS}$, $P_{tv \max i}$ – es la fuerza tractiva a la velocidad máxima en marcha superior y en una marcha i cualquiera

$P_{tx \max I}$, $P_{tx \max i}$ – es la fuerza tractiva máxima en 1ra marcha y en una marcha cualquiera i

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos por los diferentes investigadores:

Tabla 1.8 Resumen de los resultados obtenidos con el coeficiente de selectividad.

Tipo de vehículo	Coeficiente de selectividad, %					
	Aragón	Litvinov	Ilarionov	Tablas	Pérez G.	Del Sol
Camiones diesel	25-53	25-53	25-53	25-53	37-44	-
Vehículos pesados	-	-	-	-	27-65	10-94
Promedio	-	-	-	-	-	51

En este caso, Pérez Gálvez obtiene un rango de variación del coeficiente en que se incrementa el valor mínimo y se reduce el máximo. Del Sol, reduce el límite inferior y se amplía el superior con respecto a lo obtenido por Pérez Gálvez. La reducción drástica del límite inferior se debe a 8 vehículos relativamente pequeños, todos de la firma Chevrolet. En ellos Del Sol observa que existe marcha superior multiplicada y penúltima marcha directa y ello se combina con una 1ra marcha reducida, y en tal caso, la selectividad se reduce, pues la cantidad de marchas que se necesitan para

cubrir el rango de relaciones de transmisión entre la marcha 1ra y directa es mayor, o hay que dejar mayor espacio (en el eje vertical de la característica tractiva) entre una marcha y otra, lo que reduce la selectividad de marchas. Los 66 vehículos restantes (89,9%), poseen valores del coeficiente de selectividad adecuados. El valor promedio, no obstante, se encuentra dentro del rango de los obtenidos por Pérez Gálvez.

Con respecto a la definición de la dependencia del coeficiente de selectividad con relación a parámetros característicos del vehículo, se obtuvo como más adecuada la dependencia siguiente:

$S_e = f(e_M)$. Esta dependencia es lógica, por la alta dependencia del coeficiente de selectividad de la elasticidad de torque. Al establecer la dependencia se comprobó que el ajuste más adecuado es el de la función racional.

Los mayores valores del coeficiente de selectividad se alcanzan para altos valores de e_M . Esto tiene lógica, pues a mayores valores de e_M , la curva de torque es más cerrada, y mientras más cerrada la curva de torque, menos espacio libre queda entre las curvas de fuerza tractiva, por lo que hace crecer la selectividad.

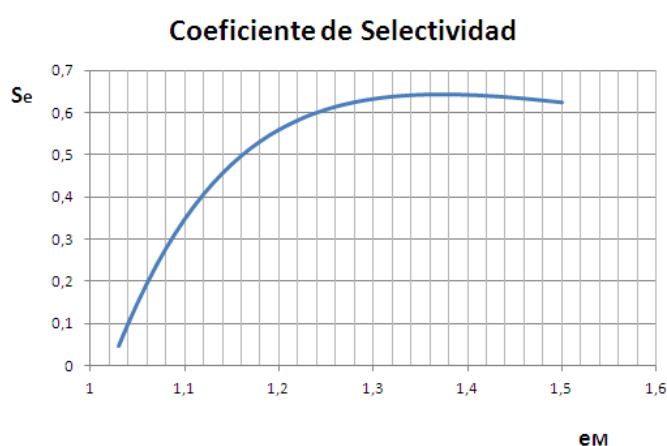


Fig. 1.11 Dependencia $S_e = f(e_M)$ para vehículos pesados.

RationalFunction:	$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2}$
Donde:	$a = -0,981392$
	$b = 0,960361$
	$c = -2,189771$
	$d = 1,343091$
	$S = 0.17$
	$r = 0.7217$

1.6.-Conclusiones parciales.

Al concluir el capítulo se arriba a las siguientes conclusiones:

- Sin demeritar los resultados alcanzados, la dificultad existente para solucionar la ecuación de 3er grado propuesta por Pérez Gálvez para la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable, el carácter aproximado de los métodos de solución y la relativamente pequeña base de datos empleada para la determinación de la mencionada expresión, determinan la necesidad de seguir profundizando en la temática, para continuar aproximándonos a una expresión científicamente más acertada.

- La incidencia de la velocidad mínima de movimiento estable en dos de los 3 coeficientes que evalúan la relación motor-sistema de transmisión, aconseja por tanto, con cada nuevo resultado de determinación de ésta, realizar una valoración de los mismos, de su rango de variación y de las dependencias funcionales establecidas en cada coeficiente.
- Como quiera que existen software avanzados, que brindan mayores posibilidades de trabajo con las expresiones de 3er grado, no se debe desdeñar continuar perfeccionando el trabajo realizado por Pérez Gálvez, independientemente de que se busquen alternativas de determinación de la velocidad mínima de movimiento estable más sencillas y con adecuado nivel de exactitud.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1.-Introducción.

Como su nombre lo indica, este capítulo se dedica a exponer la metodología de investigación que va a ser empleada para dar respuesta a los requerimientos del trabajo. En este capítulo se abordarán como aspectos fundamentales los siguientes:

- 1) Sobre la base de la metodología desarrollada por Pérez Gálvez en su trabajo doctoral, se propondrá una nueva expresión de velocidad mínima de movimiento estable, obtenida con una base de datos experimental superior a la empleada por éste.
- 2) Analizando las condiciones en que se produce la velocidad mínima de movimiento estable, elegir aquellos parámetros dinámicos, constructivos o energéticos que mayor incidencia poseen en su desarrollo.
- 3) Sobre la base de los parámetros anteriores, utilizando cada parámetro o conjunto de parámetros, establecer una dependencia que posibilite determinar la velocidad mínima de movimiento estable.
- 4) Utilizar la expresión que brinde mejores resultados para determinar los coeficientes que evalúan la relación motor-sistema de transmisión, para después establecer dependencias funcionales de las mismas con los parámetros que mayor incidencia poseen en cada uno de los coeficientes y graficar la dependencia, para garantizar una evaluación más objetiva del vehículo.

2.2.-Metodología para la determinación del modelo de velocidad mínima de movimiento estable sobre la base de la propuesta de Pérez Gálvez.

A pesar de poseer datos experimentales de un grupo relativamente elevado de vehículos pesados, en su tesis doctoral, Pérez Gálvez se ve imposibilitado de utilizarlos en su totalidad, por contar con características técnicas de sólo 9 vehículos pesados contemplados en la base de datos.

Con el transcurso del tiempo, se ha logrado ampliar el número de características técnicas de los vehículos de la base de datos a 19, lo cual brinda la posibilidad de tratar de buscar mayor exactitud en la expresión que posibilita la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable. La base de datos de los 19 vehículos se muestra en la [Tabla 2 del Anexo](#).

Como puede observarse de la tabla anteriormente mencionada, varios de los vehículos poseen más de un puente motriz, y por tanto, poseen una caja de transferencia o traspaso con dos posibilidades de conexión de relación de transmisión (con la excepción de algunos vehículos 6x4). De igual forma, en el caso de 3 vehículos Kamaz, las velocidades mínimas de movimiento estable vienen especificadas en la base de datos experimental para 5 marchas, y estos vehículos poseen 10

marchas. Pero además, el constructor brinda la posibilidad de entregar el vehículo con 3-4 variantes de relaciones de transmisión en el puente (Ver [Tabla 3 del Anexo](#)). Como quiera, que los datos experimentales no especifican si se realizaron los experimentos con tal o más cual reducción en el puente o en la caja de traspaso, o si los resultados se refieren, por ejemplo, a la 1ra marcha o a la 1ra marcha multiplicada, hay necesidad de verificar cuál de estas variantes es la que más se ajusta a los resultados experimentales.

Esta base de datos consta de vehículos pesados de diferente tipo (camiones, camiones cuña, ómnibus), con variados parámetros de salida, con 4 o 5 marchas experimentales, lo que arroja un total de 89 puntos, que se utilizarán para el cálculo y procesamiento. Los datos de los vehículos sometidos a análisis experimental en la literatura y los valores de velocidad mínima de movimiento estable experimental en cada una de sus marchas, se muestran en la [tabla 2.1](#). La numeración de las características técnicas de los vehículos de la [tabla 1 del Anexo](#) y de las velocidades mínimas de movimiento estable de la [tabla 2.1](#), se corresponden con iguales vehículos.

Tabla 2.1 Velocidades mínimas de movimiento estable experimentales(Borovskij, 1989)

Velocidad mínima experimental, m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V_{eminI}	0,611	0,639	0,972	0,778	0,639	0,694	0,694	0,778	0,917	1,000
V_{eminII}	1,306	1,361	1,667	1,667	1,361	1,194	1,500	1,667	1,667	1,833
$V_{eminIII}$	2,389	2,500	3,333	3,056	2,472	2,222	2,694	3,056	3,056	3,333
V_{eminIV}	3,889	4,167	5,000	5,000	4,167	3,889	4,444	5,000	4,722	5,278
V_{eminV}			7,500			5,000			7,222	8,056
Velocidad mínima experimental, m/s	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
V_{eminI}	0,667	0,556	0,556	0,556	0,611	0,639	0,861	0,778	0,722	
V_{eminII}	1,194	0,917	1,056	1,056	1,111	1,167	1,667	1,528	1,389	
$V_{eminIII}$	2,278	1,667	1,667	1,917	1,944	1,944	2,778	2,500	2,222	
V_{eminIV}	4,167	2,500	2,778	2,778	3,056	3,056	4,444	4,167	3,611	
V_{eminV}	5,278	3,750	4,056	4,389	4,444	4,722	6,944	6,111	5,556	

Siguiendo el procedimiento utilizado por Pérez Gálvez, partimos de la Ecuación Adimensional del Movimiento (Expresión [1.30](#))

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{1}{\delta_z} \cdot (D - \Psi)$$

Como quiera que la velocidad mínima de movimiento estable se desarrolla a velocidad constante, la expresión [1.30](#) se transforma en: $D = \Psi$ (2.1)

Como conocemos: $D = \frac{P_{txi} - P_a}{G}$

Sustituyendo P_{txi} y P_a , según las expresiones 1.26 y 1.21, respectivamente, y despejando se obtiene:

$$\frac{M_{ex} \cdot \eta_o}{r_d \cdot i_{ci}} - K_{aer} \cdot V^2 = G \cdot \psi \quad (2.2)$$

Sustituyendo la expresión de la eficiencia mecánica de la transmisión (expresión 1.31), nos queda:

$$\frac{M_{ex} \cdot \left[\chi - \frac{(2 + 0,09 \cdot V) \cdot G \cdot r_d \cdot i_{ci} \cdot 10^{-3}}{M_{ex}} \right]}{r_d \cdot i_{ci}} - K_{aer} \cdot V^2 = G \cdot \psi \quad (2.3)$$

De Donde:

$$\frac{M_{ex} \cdot \chi}{r_d \cdot i_{ci}} - (2 + 0,09 \cdot V) \cdot G \cdot 10^{-3} - K_{aer} \cdot V^2 = G \cdot \psi \quad (2.4)$$

Sustituyendo M_{ex} , según expresión 1.2 y despejando G , tenemos:

$$\frac{M_{eN} \cdot \left(C_1 + \frac{C_2}{V_N} \cdot V - \frac{C_3}{V_N^2} \cdot V^2 \right) \cdot \chi}{G \cdot r_d \cdot i_{ci}} - (2 + 0,09 \cdot V) \cdot 10^{-3} - \frac{K_{aer} \cdot V^2}{G} = \psi \quad (2.5)$$

Si se sustituyen los valores de V_{min} de la base de datos experimental para todas las marchas, en la expresión 2.5, de manera de obtener un conjunto de valores de $\psi = f(V_{min})$, con la ayuda del software Curve Expert se obtiene la dependencia entre ambos parámetros, que en este caso resultó ser una **ecuación hiperbólica**: $y=a+b/x$

$$\psi = a + \frac{b}{V_{min}} = \frac{a \cdot V_{min} + b}{V_{min}} \quad (2.6)$$

Dónde: $a = 0,0011603332$; $b = 0,158662812$

En la figura 2.1 y 2.2 se muestran la dependencia $\psi = f(V_{min})$ y los residuales obtenidos.

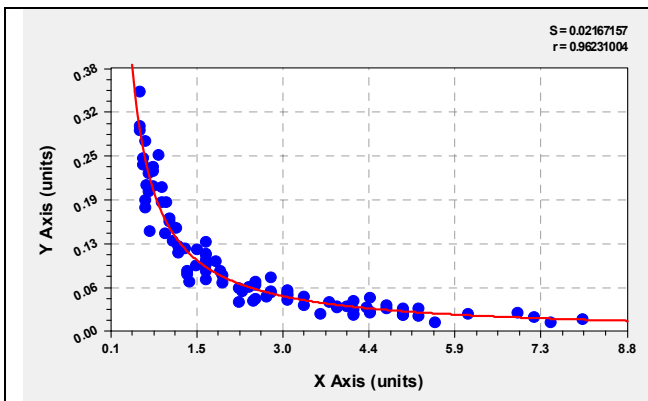


Fig. 2.1 Dependencia $\psi = f(V_{min})$ obtenida

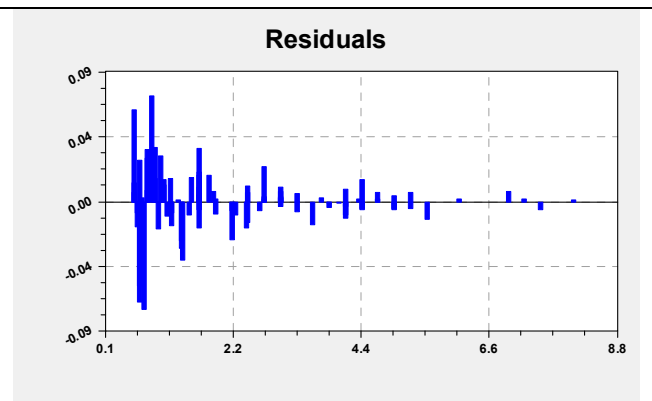


Fig. 2.2 Residuales de la dependencia de $\psi = f(V_{min})$

En el caso de Pérez Gálvez se obtuvo un **Modelo Recíproco** del tipo:

$$\psi_i = \frac{1}{(3.7515 \cdot V_{\min} + 0.4147)} \quad (2.7)$$

con un valor de $S = 0,02446794$ y $r = 0,97275907$. En este caso, con una mayor base de datos, se logra un valor de S un tanto menor ($0,02167157$), aunque el valor de r desciende de $0,9727$ a $0,9623$.

Sustituyendo 2.6 en 2.5 y reagrupando convenientemente se obtiene una dependencia también de 3er grado:

$$a_v \cdot V_{\min}^3 + b_v \cdot V_{\min}^2 + c_v \cdot V_{\min} + d_v = 0 \quad (2.8)$$

Con coeficientes:

$$a_v = - \left(\frac{M_{eN} \cdot C_3 \cdot \chi}{G \cdot r_d \cdot i_{ci} \cdot v_N^2} + \frac{K_{aer}}{G} \right)$$

$$b_v = \left(\frac{M_{eN} \cdot C_2 \cdot \chi}{G \cdot r_d \cdot i_{ci} \cdot V_N} - 9 \cdot 10^{-5} \right)$$

$$c_v = \frac{M_{eN} \cdot C_1 \cdot \chi}{G \cdot r_d \cdot i_{ci}} - 0,0031603332$$

$$d_v = 0,158628$$

Esta expresión, si bien de 3er orden, posee coeficientes más sencillos que los correspondientes a Pérez Gálvez (Ver expresión 1.38).

Como siguiente paso, debemos resolver la ecuación utilizando alguna de las variadas expresiones aproximadas presentes en la literatura o por un software profesional, buscando la vía que brinde los mejores resultados. Entre ellos se utilizará:

A).-La expresión:

$$x = -\frac{b}{3a} - \frac{2^{1/3}(-b^2 + 3ac)}{3a \left(-2b^3 + 9abc - 27a^2d + \sqrt{4(-b^2 + 3ac)^3 + (-2b^3 + 9abc - 27a^2d)^2} \right)^{1/3}} + \frac{\left(-2b^3 + 9abc - 27a^2d + \sqrt{4(-b^2 + 3ac)^3 + (-2b^3 + 9abc - 27a^2d)^2} \right)^{1/3}}{3 \cdot 2^{1/3}a}$$

(Wolfram, 2014)

B).-El método de Cardano-Ferrari (Ivorra, 2014).

C).-El Software Derive 5.1.

Con la mejor variante, validaremos la expresión 2.8, determinando la velocidad mínima de movimiento estable para los vehículos que poseen resultados experimentales y determinando el error relativo.

2.3.-Criterios para la determinación de la expresión de $V_{\min}$ en función de parámetros dinámicos, energéticos y constructivos.

Como se ha expresado, tanto la expresión propuesta por Pérez Gálvez como la expresión 2.8, presentan dificultades en su determinación y hay necesidad de trabajar en función de definir una expresión más sencilla, que permita con adecuada exactitud determinar directamente el valor de la velocidad mínima de movimiento estable.

El comportamiento de la velocidad mínima de movimiento estable depende de múltiples factores: constructivos del vehículo, dinámicos y otros derivados del funcionamiento del motor a relativamente bajas frecuencias de rotación. Realizar un análisis teórico que contemple todos los factores resulta muy complejo, pero además inexacto, pues habría que asumir un sinnúmero de parámetros que no aparecen en la documentación técnica de los vehículos.

Por tanto, se opta por valorar la posibilidad de establecer dependencias funcionales con respecto a parámetros de conocida incidencia en la capacidad de movimiento de la máquina automotriz, que puedan tener un comportamiento regular con la velocidad mínima de movimiento estable, para por esta vía establecer un modelo de determinación de la misma. Estos parámetros se analizarían en forma aislada y en combinación con otros, atendiendo al efecto que provocan en la velocidad mínima.

Entre los parámetros de conocida incidencia en la velocidad mínima de movimiento estable, se seleccionan los siguientes:

- La potencia específica.
- La relación de transmisión total
- Los índices de elasticidad del motor
- El rango de relaciones de transmisión de la caja de velocidad, en relación con el número de marchas.
- El radio dinámico.

La potencia específica es uno de los parámetros fundamentales del vehículo, se utiliza para valorar las cualidades dinámicas de vehículos del mismo tipo, con diferentes pesos y parámetros de salida. Se puede definir, como la relación entre la potencia máxima que entrega el motor y el peso total del vehículo, en toneladas.

$$N_{\gamma} = \frac{N_{e\max}}{G} \text{ (kW/t)} \quad (2.9)$$

En tal sentido, se utilizan tablas que establecen los rangos de potencia específica de diferentes tipos vehículos, en forma de estándares internacionales. Sus valores mínimos se reglamentan en los vehículos que circulan por carreteras, de modo que puedan lograrse velocidades de flujo de transportación adecuadas en las carreteras de uso general. Está comprobada su incidencia en la velocidad máxima, la velocidad media de movimiento, la capacidad de aceleración, el consumo de combustible y la reducción en la frecuencia de uso de marchas inferiores durante el movimiento. Como quiera que involucra dos parámetros fundamentales para el desarrollo del movimiento y a la vez contrapuestos, en relación con la velocidad mínima de movimiento estable: la potencia máxima de salida del motor y el peso del vehículo con carga nominal, se le concede importancia en la definición de una dependencia que posibilite la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable, sin excluir el análisis por separado de los parámetros que la conforman.

El peso total define en gran medida, a determinadas velocidades de movimiento y condiciones viales, la resistencia al movimiento de la máquina automotriz. Por otro lado, las potencialidades del vehículo, representadas en este caso por la potencia máxima del motor, definen en gran medida sus cualidades dinámicas.

Pero, las cualidades dinámicas del vehículo en cada marcha, están también fuertemente condicionadas, por la relación de transmisión total del sistema de transmisión. Su magnitud define en gran medida, tanto la fuerza tractiva que es capaz de generarse, como la velocidad de movimiento que puede desarrollarse en cada marcha, para un régimen de trabajo del motor determinado. Por tanto, la relación de transmisión total, es un parámetro que no debe faltar en la valoración.

Los coeficientes de elasticidad del motor (elasticidad de torque, elasticidad de frecuencia de rotación y elasticidad total, representados en las expresiones 1.4-1.8), tienen alta incidencia en las cualidades dinámicas del vehículo. En especial la elasticidad de torque, determina la adaptabilidad del vehículo a las variaciones de carga: mientras mayor es, mejor la reacción del vehículo ante las variaciones de carga, pues responde con más torque, y menor variación en el régimen de funcionamiento del motor. La elasticidad de frecuencia de rotación, por su parte, determina en gran medida el número de marchas del vehículo. De tal forma, dos vehículos de semejantes características, con igual número de marchas, pero diferente elasticidad de frecuencia de rotación, tendrá mejores cualidades dinámicas el que mayor valor de e_n posea.

El rango de relaciones de transmisión de la caja de velocidad, $(I_s = \frac{i_{smarcha superior}}{i_{sl}})$ da una medida de la capacidad de la caja de velocidad para admitir un determinado número de marchas. A medida que

el número de marchas se incrementa para un determinado valor de I_s , se incrementan las cualidades dinámicas del vehículo, pero puede incrementarse la complejidad de la conducción. La combinación de I_s con el número de marchas: a).-da una medida de la selectividad del conjunto motor-sistema de transmisión, de gran incidencia en la velocidad de movimiento para una resistencia determinada; b).-tiene incidencia en el consumo de combustible, pues al mejorar la selectividad, se puede transitar con mejores coeficientes de aprovechamiento de la potencia, en mayores marchas y con una menor frecuencia de rotación.

Para un determinado motor y sistema de transmisión, el radio dinámico incide en las cualidades cinemáticas y dinámicas del vehículo. A menor radio dinámico, menos velocidad y mayor fuerza tractiva y viceversa.

El torque máximo, determina en gran medida la fuerza tractiva máxima, y es un parámetro fundamental de la fuente energética, que está implícito en la elasticidad de torque.

Partiendo de lo anterior, se probó en primer lugar la posibilidad de establecer una dependencia entre la velocidad mínima de movimiento estable y cada uno de los parámetros por separado. Después se establecieron correlaciones con grupos de parámetros, teniendo en cuenta el carácter de la incidencia de cada uno en la velocidad mínima de movimiento estable.

No se trató en este caso de hacer un diseño experimental, pues tendría múltiples variantes y habría que desarrollarlas todas. Se trató de probar efectos de cada parámetro o de combinaciones de parámetros, hasta arribar a una variante que brinde resultados adecuados.

Se procesaron combinaciones de parámetros, que a pesar de que arrojaron buenos resultados desde el punto de vista del ajuste del modelo, no brindaron resultados satisfactorios en el cálculo de la velocidad mínima de movimiento estable y en los coeficientes que valoran la relación motor-sistema de transmisión.

Después de muchas pruebas, procesando las dependencias en el Curve Expert, se encontró que la dependencia $V_{min} = f(e_M / (r_d \cdot i_{ci}))$ arrojó resultados satisfactorios. Se obtuvo un modelo Recíproco:

$$V_{min} = \frac{1}{a \cdot \left(\frac{e_M}{i_{ci} \cdot r_d} \right) + b} \quad (2.10)$$

Dónde: $a = 0.012977157$; $b = -0.0032441348$

A continuación se muestran la dependencia, con sus valores de ajuste y los residuales del modelo obtenido (Figuras 2.3 y 2.4).

En comparación con la expresión 1.41, obtenida por Del Sol Morales (2014), hay coincidencias y diferencias notables. En primer lugar es también un modelo recíproco, pero más sencillo, pues depende de un menor número de parámetros. La expresión 1.41 de Del Sol Morales, depende de la elasticidad de torque (e_M), del radio dinámico (r_d) y de la relación de transmisión total (i_{ci}), pero a diferencia de la obtenida en el presente trabajo, depende también de la potencia específica ($N\gamma$) y de la elasticidad de frecuencia de rotación (e_n), como puede observarse:

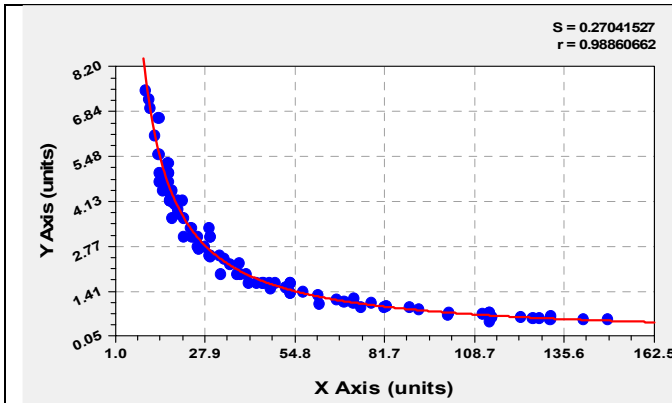


Fig. 2.3 Dependencia $V_{\min} = f(e_M / (r_d \cdot i_{ci}))$

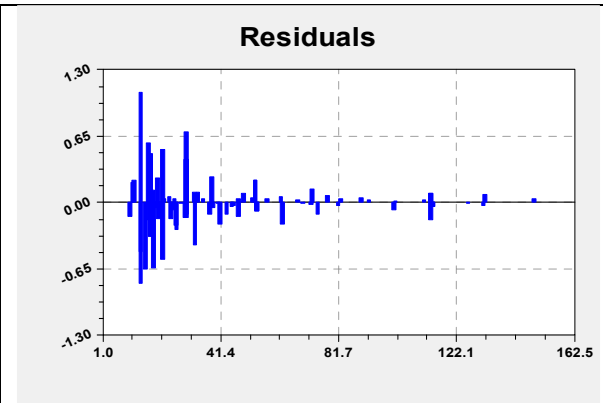


Fig. 2.4 Residuales obtenidos con la dependencia $V_{\min} = f(e_M / (r_d \cdot i_{ci}))$

$$V_{\min} = \frac{1}{a \cdot \left(\frac{10^2 \cdot N\gamma \cdot e_M}{i_{ci} \cdot e_n \cdot r_d} \right) + b} \quad (2.11)$$

La elasticidad de torque, el radio dinámico y la relación de transmisión total, se encuentran en igual relación con respecto a la velocidad mínima de movimiento estable, que en el resultado de Del Sol Morales. Esta dependencia es totalmente lógica, pues a menor radio dinámico y relación de transmisión total hay mayor fuerza para vencer las resistencias al movimiento y en la medida del crecimiento de la elasticidad de torque hay mayor estabilidad de movimiento.

Por otro lado, la expresión obtenida en este trabajo, muestra mejores resultados, en cuanto a la adecuación del modelo a los valores experimentales (Ver figura 1.5):

Tabla 2.2. Resultados comparativos con el trabajo de Del Sol Morales (2014)

Del Sol Morales		Presente trabajo	
Desviación estándar	Coef. de correlación	Desviación estándar	Coef. de correlación
2.12333723	0.94125484	0.27041527	0.98860662

Analizando la figura 1.5, puede observarse la notable diferencia en cuanto a los residuales, mejores con la variante de modelo obtenido en el actual trabajo.

Obtenida la expresión que relaciona la velocidad mínima de movimiento estable con parámetros de probada incidencia en la misma, debe determinarse la velocidad mínima de movimiento estable con los parámetros de los 19 vehículos con resultados experimentales, para comparar los resultados del cálculo con los valores experimentales, a partir del error relativo, como forma de validación.

Acto seguido, debemos comparar, a partir del error relativo obtenido:

- a) Los resultados obtenidos por la expresión 1.38 de Pérez Gálvez; los obtenidos por la expresión cúbica 2.8 del presente trabajo y los de la expresión 2.10, obtenida en función de parámetros funcionales, en los 9 vehículos que fueron objeto del trabajo de Pérez Gálvez, en cada una de sus marchas. Considerar el error relativo promedio por marchas en el análisis.
- b) Los resultados obtenidos por la expresión 2.8 y 2.10 en los 19 vehículos que fueron objeto del presente trabajo en cada una de sus marchas. Considerar el error relativo promedio por marchas en el análisis.
- c) Comparar los resultados obtenidos por b), con los obtenidos en a).
- d) Valorar el comportamiento de la frecuencia de rotación correspondiente a la velocidad mínima de movimiento estable en cada vehículo y en cada marcha.
- e) Determinar, dentro de las 3 variantes de determinación de la velocidad mínima de movimiento estable, la que brinda mejores resultados.

Estos procesamientos se realizan con el Excel.

2.4.-Criterio de determinación de las dependencias funcionales de los coeficientes que evalúan la relación motor-sistema de transmisión con parámetros característicos del vehículo.

Obtenida la expresión que mejores resultados brinda, se comprueba en una base de datos de 74 vehículos pesados, los resultados que arroja en la determinación de la velocidad mínima y en los coeficientes que evalúan la relación motor-sistema de transmisión. De esta forma, pueden establecerse los rangos de variación de cada uno de los coeficientes y contraponerlos con los obtenidos en el doctorado de Pérez Gálvez y V. Millo.

La base de datos de 74 vehículos tiene las características mostradas en la tabla 2.3. Como puede observarse, en cuanto a tipo de vehículo pesado, procedencia, tipo de motor, potencia máxima, peso total, número de relaciones de transmisión y tipo de marcha superior, el parque objeto de estudio es bastante variado.

Tabla 2.3. Características principales de los vehículos contemplados en la base de datos

Tipo de vehículo	Camión	52	Cuña tractora	16	Ómnibus	6
Norma	GOST	27	DIN	24	SAE	23
Motor	Gasolina	15	Diesel	59		
Potencia máxima, kW	De 50-100 kW	14	De 101-150 kW	25	Mayor que 150 kW	35
Peso total, t	Hasta 10 t	17	De 11-20 t	48	Mayor que 20 t	9
Relaciones de transmisión en la C.V.	Hasta 5	44	De 6-8	23	Mayores que 8	7
Marcha superior	Directa	43	Multiplicada	31		

Los coeficientes que evalúan la relación motor-sistema de transmisión se obtienen a partir de las expresiones contenidas en el epígrafe 1.5, con la ayuda del Excel.

Determinados los valores de los coeficientes para el parque de vehículos, se procede a determinar los rangos de variación de los mismos. A continuación, se comparan los valores de los rangos de variación con los propuestos por Pérez Gálvez y V. Millo, los que aparecen en la tabla 1.6 y se reajustan los valores, si las nuevas expresiones mejoran los resultados obtenidos en la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable. Se justifican las posibles diferencias.

Obtenidos los rangos de variación, se procede a establecer las regularidades de dichos coeficientes con parámetros significativos del vehículo, de forma que se puedan graficar las dependencias, en forma de estándares, con la finalidad de hacer más objetiva la evaluación de las cualidades dinámicas de los vehículos. No es posible realizar una evaluación adecuada, si no se establece tal dependencia. Veamos un ejemplo hipotético, que explique tal situación:

Sea un coeficiente cualquiera que presenta una regularidad de comportamiento respecto a los parámetros XY, tal y como representa la figura 2.5.

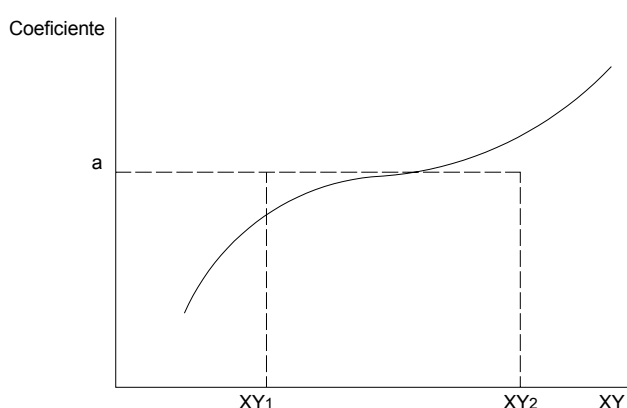


Fig. 2.5 Ejemplo que muestra la necesidad de graficar el comportamiento del indicador respecto a parámetros significativos del vehículo.

Supongamos que el coeficiente es tal, que cuando el vehículo en cuestión alcanza un valor del coeficiente superior al estándar, se puede decir que presenta buenas cualidades dinámicas. Cuando un vehículo alcance un coeficiente de valor “a”, es adecuado si el vehículo lo alcanza con parámetros XY_1 , e inadecuado si lo hace con parámetros XY_2 . De ahí la necesidad de encontrar una regularidad, que una vez graficada permita evaluar objetivamente las cualidades del vehículo en función de su magnitud.

Ahora bien, hay que definir qué parámetros seleccionar, para buscar la correlación con cada coeficiente.

1.-Coeficiente de aprovechamiento del área ideal.

Con relación a este coeficiente se pueden establecer las siguientes dependencias:

Curva de fuerza tractiva ideal	Como se trata de la característica ideal, con respecto a la cual se determina el coeficiente, y esta se traza para $N_{em\acute{a}x} = cte$, existe una dependencia con la potencia máxima
Curvas reales de P_{txi}	Al depender de la forma de la curva de P_{txi} , va a existir una dependencia en relación con los coeficientes de elasticidad del motor: e_M y e_n . El e_M define cuan cerrada es la curva de P_{txi} , e_n por su parte, caracteriza la amplitud del rango de trabajo del motor y ambas determinan los coeficientes C_1 , C_2 y C_3 que dan forma a la característica exterior de velocidad, quien define la conformación de las curvas reales de fuerza tractiva. Estos coeficientes incluyen la incidencia del $M_{em\acute{a}x}$, M_{eN} , W_N y W_M .
	De la $V_{mín}$ en 1ra marcha , que tanto peso tiene en el coeficiente de aprovechamiento del área ideal, la cual, de acuerdo con la dependencia determinada en este trabajo, está íntimamente relacionada con e_M , r_d e i_{ci} .
	De las velocidades máximas en cada marcha, las cuales dependen de W_N , el r_d y la i_{ci} en cada marcha.
Sistema de transmisión	Del número de marchas (m), pues a mayor número de marchas hay mayor adecuación de la característica real a la ideal.
	Del valor de las relaciones de transmisión de la caja de velocidad (i_{si}) y de la relación de transmisión total en cada marcha (i_{ci}), pues determinan la mayor o menor aproximación a la curva ideal y la magnitud de las velocidades mínimas y máximas en cada marcha, además de su incidencia en la magnitud de las fuerzas tractivas en cada marcha. Por tanto, depende también del rango de relaciones de transmisión de la caja de velocidad ($I_s = i_{sms}/i_{si}$)
	De la eficiencia de la transmisión en cada marcha (η_o).

2.- Coeficiente de recubrimiento.

Con relación a este coeficiente se pueden establecer las siguientes dependencias:

Motor	Como quiera que el solape depende del rango de frecuencias de rotación (mientras más amplio mayor solape), debe poseer una dependencia fuerte de la <u>elasticidad de frecuencia de rotación</u> (en), la cual relaciona a W_N con W_M
	Del <u>tipo de motor</u> , pues los rangos de frecuencia de rotación en vehículos diesel y de gasolina son muy diferentes.
Curvas reales de P_{txi}	De la <u>velocidad mínima de movimiento estable</u> , excluyendo la de 1ra marcha, que como queda evidenciado en el trabajo tienen una dependencia con la e_M , el r_d y la i_{ci} .
	De la <u>velocidad máxima en cada marcha</u> , que depende de W_N , r_d y la i_{ci} en cada marcha.
Sistema de transmisión	De la <u>relación de transmisión total</u> , que tanta incidencia posee en las velocidades máximas y mínimas del vehículo en cada marcha.

3.- Coeficiente de selectividad.

Con relación a este coeficiente se pueden establecer las siguientes dependencias:

Motor	Del <u>coeficiente de elasticidad de torque</u> , que define cuan aplanada o cerrada es la curva de torque, la que define la forma de la curva de P_{txi} en cada marcha, a través de los coeficientes C_1 , C_2 y C_3 . Del <u>coeficiente de elasticidad de frecuencia de rotación</u> , que determina el número de marchas que garantizan buenas cualidades dinámicas para un determinado rango de relaciones de transmisión de la caja de velocidad.
Curvas reales de P_{txi}	De la <u>fuerza tractiva máxima en cada marcha</u> , lo cual establece su dependencia con el torque máximo ($M_{em\acute{a}x}$), la eficiencia de la transmisión (η_o), radio dinámico (r_d) y la relación de transmisión total (i_{ci}).
	De la <u>fuerza tractiva a velocidad máxima en cada marcha</u> . Esto la hace depender de la relación W_v/W_N , de los coeficientes de elasticidad, del torque a potencia máxima, de la relación de transmisión total en marcha superior, del radio dinámico y de la eficiencia de la transmisión.
Sistema de transmisión	Depende del <u>número de relaciones de transmisión</u> existentes para una determinada relación entre la fuerza tractiva máxima en 1ra marcha y la fuerza tractiva a velocidad máxima en marcha superior, es decir, para un <u>rango de relaciones de transmisión de la caja de velocidad</u> , y propiamente de la magnitud de las <u>relaciones de transmisión en cada marcha</u> .

Con cada uno de estos parámetros y con la combinación adecuada de varios de ellos en cada coeficiente, hay que valorar, con cual se establece la regularidad más adecuada, de forma que posibilite graficarlo en forma de estándar, utilizando la base completa de datos técnicos de vehículos pesados que se posee. Para el procesamiento se utilizará el software Curve Expert

Una vez procesados los datos deben presentarse estadística y gráficamente los resultados más significativos, es decir, si se logran resultados estadísticamente significativos entre un determinado coeficiente y más de un parámetro o conjuntos de parámetros deben contemplarse, para facilitar con posterioridad la evaluación de las cualidades del vehículo, a partir de la relación motor-sistema de transmisión. Esto es necesario, pues no todas las bases de datos de vehículos presentan los mismos parámetros característicos y a falta de uno, existe la posibilidad de utilizar otro.

2.5.-Conclusiones parciales.

Al finalizar el capítulo se arriba a las siguientes conclusiones parciales:

- La metodología empleada expresa con claridad los pasos que hay que dar, para lograr los resultados esperados.
- La expresión 2.8 de 3er grado, que posibilita la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable, sigue siendo una ecuación compleja, por ser de 3er grado. No obstante, comoquiera que el procesamiento de una base de datos mayor define un modelo recíproco, mucho más sencillo, determina coeficientes más sencillos en la ecuación de 3er grado, que los obtenidos por Pérez Gálvez en su expresión 1.38.
- El uso de una base de datos de vehículos experimentales mayor en la obtención de la expresión 2.8, no afecta la exactitud del modelo obtenido.
- La expresión 2.10 obtenida sobre la base de la valoración de parámetros funcionales, resulta ser un modelo recíproco, al igual que en el caso de Del Sol Morales, pero la expresión es más sencilla y el modelo obtenido, presenta mejores parámetros de ajuste (desviación estándar y coeficiente de correlación).
- Los parámetros que intervienen en la expresión 2.10, aparecen también en la expresión obtenida por Del Sol Morales, con igual correlación respecto a la velocidad mínima de movimiento estable, pero en el caso de Del Sol Morales aparecen otros parámetros no contemplados en la 2.10.
- La correlación de los parámetros contenidos en la 2.10 en relación con la velocidad mínima de movimiento estable, es totalmente lógica.
- El análisis de los parámetros con marcada incidencia en los coeficientes que valoran la relación motor-sistema de transmisión se realizó con mayor profundidad y debe contribuir a facilitar el trabajo de establecimiento de las dependencias funcionales de estos con los coeficientes que valoran la relación motor-sistema de transmisión.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1.-Introducción.

En este capítulo se muestran los resultados alcanzados en el trabajo investigativo. Se inicia con el análisis de los resultados obtenidos en la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable, por los dos métodos propuestos, relacionando sus resultados con los alcanzados en investigaciones anteriores. Posteriormente, se determinan los coeficientes que valoran la relación motor-sistema de transmisión en la base de datos de 74 vehículos, se adecuan los rangos de variación de los mencionados coeficientes y se determinan las correlaciones de estos con parámetros funcionales y se grafican sus resultados.

3.2.-Los modelos de velocidad mínima de movimiento estable: Sus resultados.

En este epígrafe se compararán los resultados obtenidos por Pérez Gálvez (expresión 1.38) con los obtenidos, tanto con la expresión de 3er grado (expresión 2.8) como con la expresión 2.10, determinada en función de parámetros de conocida incidencia en la velocidad mínima de movimiento estable. La comparación se realizará, primero a nivel de los 9 vehículos utilizados por Pérez Gálvez en su trabajo doctoral y después utilizando la base de datos experimentales de los 19 vehículos utilizados en este trabajo.

La solución de la expresión cúbica 2.8, se realizó con los dos métodos aproximados, relacionados en el capítulo II y con el software Derive, obteniéndose los mejores resultados con éste último. Se resolvió la ecuación, primero con el Derive 4.1 y después con el Derive 5.1, obteniéndose los mejores resultados con el Derive 5.1. Esto nos muestra que aun con un software profesional como éste, los resultados son aproximados y que trabajar con una versión más reciente, puede arrojar resultados más satisfactorios. No fue posible, por razones de tiempo y disponibilidad, trabajar con versiones más avanzadas del Derive, que ya existen.

En el caso de la expresión 2.10, fue procesada en Excel, el cual se utiliza también para verificar la correspondencia de los resultados de la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable calculada, en relación con la establecida en los datos experimentales.

Los resultados en detalle aparecen en la [tabla 4 del Anexo](#), para las tres variantes de solución, es decir, los resultados alcanzados por Pérez Gálvez en su trabajo doctoral (expresión 1.38) y los resultados alcanzados en este trabajo: expresiones 2.8 y 2.10. En la misma se muestran los resultados de las 3 variantes de solución, comparados con la velocidad mínima de movimiento

estable experimental en cada marcha y el error relativo que se produce al aplicar el método de solución.

El análisis de los resultados mostrados en la [tabla 4 del Anexo](#), nos muestra algunas incongruencias:

- Buenos resultados obtenidos con la expresión [1.38](#) en algunos vehículos, que se contraponen con resultados peores con la solución de la expresión [2.8](#) y viceversa. Esto a pesar de que los resultados de la expresión [2.8](#) son, en general, mejores que los obtenidos con la expresión [1.38](#) en los 9 vehículos estudiados.
- Vehículos en los cuales aparecen buenos resultados en la mayoría de las marchas y resultados con errores relativos elevados en otras, tanto con la expresión [1.38](#) como con la [2.8](#), si bien se aprecia mayor uniformidad en los resultados por vehículo con la utilización de expresión [2.8](#).

En tal sentido, se estima que en estos resultados está incidiendo el carácter aproximado de los métodos de solución, pues como puede apreciarse, estos problemas no se presentan con la expresión [2.10](#), luego se excluye la incidencia de errores en las bases de datos. Por tal razón, se refuerza la idea de trabajar en el futuro, con software más avanzados, tratando de mejorar los resultados obtenidos.

Como quiera que en la [tabla 4 del Anexo](#), aparecen relacionados 220 puntos, resulta muy difícil establecer con claridad una comparación entre los resultados obtenidos. Por tal razón, a continuación, en la [tabla 3.1](#), se muestra una comparación más sintética. Para ello se determinó en cada marcha, el error relativo promedio, comparando en primera instancia, los resultados obtenidos por los 3 métodos en los 9 vehículos utilizados por Pérez Gálvez en su trabajo. Estos resultados aparecen en las columnas 2, 3 y 4. Posteriormente, en las columnas 5 y 6, se comparan los resultados obtenidos en cada marcha por las expresiones [2.8](#) y [2.10](#) en los 19 vehículos con resultados experimentales contemplados en el presente trabajo. Finalmente, en la última fila se comparan en igual relación con las columnas, los resultados promedios obtenidos en general, es decir, contemplando a la vez todas las marchas.

Tabla 3.1. Comparación del error relativo promedio en los 3 métodos de determinación de la velocidad mínima de movimiento estable.

Marchas	Para los 9 vehículos evaluados por Pérez Gálvez			Para los 19 vehículos	
	Pérez Gálvez	Expresión 2.8	Expresión 2.10	Expresión 2.8	Expresión 2.10
1	2	3	4	5	6
1ra	7,00	10,03	4,35	9,02	5,26
2da	8,40	8,54	4,17	8,71	5,08
3ra	11,78	10,13	4,55	9,18	5,71
4ta	12,34	11,18	4,31	9,25	5,72
5ta	16,51	8,77	2,07	8,54	3,32
Todas las marchas	10,83	9,80	4,02	8,97	5,13

Comparando las columnas 2 y 3, se aprecia que en 1ra marcha los resultados de Pérez Gálvez son superiores a los obtenidos por la expresión 2.8, es decir, obtiene un menor error relativo promedio. En 2da marcha, los resultados de Pérez Gálvez son ligeramente mejores. No obstante, en el resto de las marchas, los resultados de la 2.8 son mejores que los de Pérez Gálvez, lo que trae como consecuencia que al evaluar todas las marchas, el resultado de la expresión 2.8 en relación con la 1.38, resulte más favorable en los 9 vehículos estudiados por Pérez Gálvez.

En relación a la expresión 2.10, columna 4, los resultados son muy superiores a los obtenidos con ambos métodos de determinación de la velocidad mínima de movimiento estable, con errores relativos promedios por debajo del 5% para esos 9 vehículos.

Como puede apreciarse en la columna 5, al hacer extensivos los resultados a los 19 vehículos con resultados experimentales utilizados en el presente trabajo, los errores relativos promedios de 1ra y 2da marcha con la expresión 2.8, continúan siendo inferiores a los de Pérez Gálvez, descendiendo un tanto en 1ra marcha y aumentando otro tanto en 2da, en relación a los obtenidos en la columna 3. Pero, los resultados globales, en todas las marchas, son superiores a los de la columna 3 (8.97 vs 9.80). Las razones habría que buscarlas en el carácter aproximado de los métodos de solución.

En la columna 6 se muestran los resultados obtenidos por la expresión 2.10, en los 19 vehículos. Este resultado parece más lógico: se aumenta el número de vehículos y se incrementa la dispersión. No obstante, si bien se elevan los errores relativos promedios, con respecto a lo obtenido en la columna 4, los resultados son más estables entre marchas y superiores a los obtenidos en los otros métodos de solución, aún con menor número de vehículos. Un error relativo promedio alrededor del 5%, resulta muy apropiado en el ámbito de la ingeniería.

Como puede observarse la estabilidad de los resultados de la expresión 2.10, sólo se altera en el caso de la 5ta marcha y ello se debe, entre otras cuestiones, a que existe menor número de vehículos con 5ta marcha.

En la tabla 3.2 se muestra a continuación el comportamiento de la frecuencia de rotación mínima en movimiento estable, es decir, la frecuencia de rotación a que se alcanza la velocidad mínima de movimiento estable en cada marcha, partiendo de los resultados obtenidos con la expresión 2.10.

Tabla 3.2. Resultados obtenidos en la determinación de la frecuencia de rotación mínima de movimiento estable, con la aplicación de la expresión 2.10.

Marcha/vehículo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n_{\min I}$, rpm	589,85	654,65	671,19	654,66	654,65	625,55	654,84	654,66	671,03	671,39
$n_{\min II}$, rpm	591,09	656,27	672,85	656,28	656,27	626,68	656,66	656,28	672,56	673,23
$n_{\min III}$, rpm	593,07	658,75	676,25	658,78	658,75	628,95	659,48	658,78	675,69	676,98
$n_{\min IV}$, rpm	596,13	662,74	680,00	662,79	662,74	632,78	664,00	662,79	679,14	681,12
$n_{\min V}$, rpm	-	-	685,73	-	-	635,25	-	-	684,41	687,45

Marcha/vehículo	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Prom
$n_{\min I}$, rpm	481,04	603,52	603,57	603,66	603,70	592,78	656,45	656,29	496,92	621,07
$n_{\min II}$, rpm	481,79	604,35	604,44	604,59	604,68	593,76	658,13	657,82	497,97	622,41
$n_{\min III}$, rpm	483,29	605,82	605,98	606,25	606,41	595,51	660,27	659,76	499,31	624,64
$n_{\min IV}$, rpm	485,82	607,68	607,94	608,36	608,61	597,73	663,86	663,02	501,55	627,83
$n_{\min V}$, rpm	487,44	610,14	610,53	611,16	611,52	600,67	668,96	667,64	504,73	620,43

A partir del trabajo desarrollado por Pérez Gálvez, habíamos llegado a la conclusión de que la frecuencia de rotación a que se alcanza la velocidad mínima de movimiento estable es diferente en cada marcha. No obstante, los resultados alcanzados en la [tabla 3.2](#), invitan a la reflexión, pues no existen diferencias notables entre las frecuencia de rotación a que se alcanza la velocidad mínima de movimiento estable en un mismo vehículo, en diferentes marchas.

Si se parte del hecho, de que se ha avanzado en la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable, pero que la expresión [2.10](#), ha sido determinada por tanteo y hay por tanto, mucho camino por andar en este sentido, no se descarta la posibilidad de que se pueda establecer una frecuencia de rotación mínima estable para el vehículo en todas sus marchas. Para ello, se debe profundizar en la investigación, trabajando con mayores bases de datos.

Los valores obtenidos, por demás, se estima son lógicos, en cuanto a su magnitud.

3.3.-Rangos de variación de los coeficientes que evalúan la relación motor-sistema de transmisión y dependencias funcionales de los mencionados coeficientes.

Una vez definido que los resultados más satisfactorios se obtienen con la expresión [2.10](#), se procede a determinar la velocidad mínima de movimiento estable para la base de datos de 74 vehículos pesados, para utilizar sus resultados en la determinación de los coeficientes que evalúan la relación motor-sistema de transmisión.

En la [tabla 5 del Anexo](#), se muestran los datos técnicos de los 74 vehículos de la base de datos y en la [tabla 6 del Anexo](#), los resultados de la determinación de las velocidades mínimas de movimiento estable y las frecuencias de rotación mínimas estables correspondientes en cada marcha, en estos vehículos.

A juzgar por los valores obtenidos de velocidad mínima de movimiento estable en los 74 vehículos, resultan normales si se les compara con los reflejados en la base de datos experimental. Sus valores máximos en 1ra marcha, por ejemplo, no sobrepasan los 5 km/h y el mínimo en un camión de 26t, está por encima de 1 km/h.

En sentido general, el comportamiento de la frecuencia de rotación mínima estable es similar al alcanzado en la base de datos experimental, es decir, con pequeñas diferencias entre los valores que se alcanzan en cada marcha, con algunas excepciones, que pueden atribuirse, entre otros, al propio carácter aproximado de la expresión 2.10 y a la calidad de los datos técnicos, pues se han encontrado datos diferentes en iguales vehículos, en diferentes fuentes. Incluso se aprecian en la tabla pequeñas diferencias entre los promedios, con la excepción de las marchas superiores, donde es menor el número de vehículos que las poseen.

En relación con los coeficientes que valoran la relación motor-sistema de transmisión, Millo Carmenate, determina por primera vez estos coeficientes, pero como se expresó anteriormente, tuvo que asumir los valores de la velocidad mínima de movimiento estable y la eficiencia del sistema de transmisión. En su trabajo Millo utiliza varios métodos de determinación de los coeficientes C_1 , C_2 y C_3 y refleja los resultados obtenidos, en función del método de determinación empleado (Aragón, Litvinor, Ilarionov, Tablas). Con vistas a lograr mayor simplicidad en el análisis se reflejan en la [tabla 3.3](#), los valores mínimos y máximos determinados en su trabajo, independientemente del método utilizado para determinar los mencionados coeficientes. Pérez Gálvez propone expresiones para la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable y la eficiencia, y por ello, establece un nuevo rango de variación de los coeficientes, empleando métodos aproximados para la solución de su ecuación cúbica de velocidad mínima de movimiento estable, lo cual tiene incidencia en sus resultados. Emplea una base de datos de 42 vehículos pesados.

Del Sol, propone su expresión y determina nuevos rangos de variación de los coeficientes, utilizando la misma base de datos que en el presente trabajo: 74 vehículos pesados. En este último caso, se trata de una ecuación simple, pero como expresamos en el tratamiento de los datos se incurre en errores que afectan los resultados del trabajo. No obstante, presentamos sus resultados.

En la [tabla 7 del Anexo](#), se muestran los resultados de la determinación de los coeficientes que valoran la relación motor-sistema de transmisión, en la base de datos de 74 vehículos. Se analizan a continuación cada uno por separado.

Coefficiente de aprovechamiento del área ideal (S_a):

Como puede apreciarse de la [tabla 7 del Anexo](#), los valores de S_a , en la mayoría de los vehículos oscilan entre 69,26 y 78,10%. Sólo en 10 vehículos el coeficiente de aprovechamiento del área ideal sobrepasa el 80%, con valores que oscilan entre 81,28 y 88,23%, que es el valor máximo. De este modo el rango de variación se establece entre 69,26-88,23%.

Comparando estos resultados con los obtenidos por Millo Carmenate, Pérez Gálvez y Del Sol Morales, podemos decir que (Ver [tabla 3.3](#)):

- En comparación con Millo Carmenateen el actual trabajo el rango se estrecha, pero se corre, es decir, se incrementa el valor mínimo y el valor máximo del rango, pero la variación entre ambos es menor. El valor mínimo del rango actual se mantienen a un nivel muy similar a los obtenidos por Del Sol y Pérez Gálvez, pero el valor máximo se incrementa un tanto en relación con Pérez Gálvez y se reduce en magnitud similar con respecto a Del Sol Morales. Los valores máximos obtenidos en este caso, son más lógicos que los de Del Sol Morales, muy elevados, de acuerdo a la lógica más elemental.

Tabla 3.3. Comparación de resultados de determinación del coeficiente de aprovechamiento del área ideal (S_a).

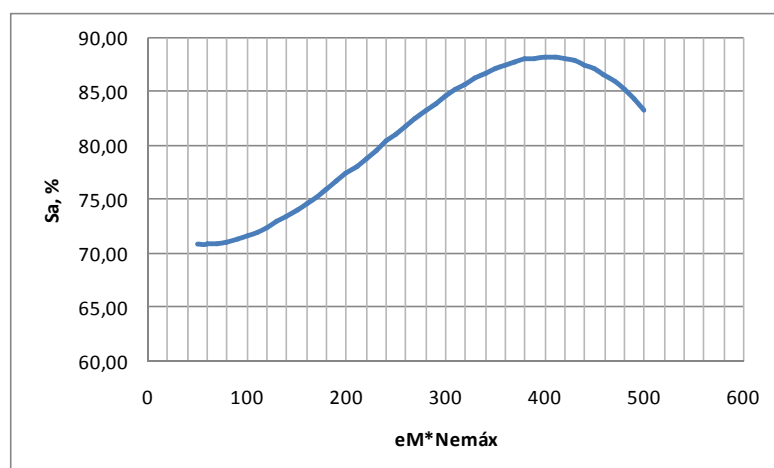
	Millo Carmenate	Pérez Gálvez	Del Sol Morales	Actual
Camiones diesel, %	41 - 74	67 - 75	65 - 97	69 - 88
Vehículos pesados, %	-	52 - 75	65 - 97	69 - 88
Vehículos gasolina, %	-	-	72 - 87	69 - 77
Promedio	-	-	83,26	75,58

- En el caso actual son 9 camiones los que sobrepasan la cifra de 80%, en la magnitud del coeficiente: a).-Un VW, de 6 marchas, 17t de peso total y 184 kW de potencia máxima; b).-5 cuñas DC, con 8 marchas, 18t y potencias máximas entre 280-345 kW; c).-3 Ford, con 10 marchas, de 16-26t y potencias máximas entre 190-228 kW; todos los motores son diesel. Es decir, son grandes vehículos con alto número de marchas.
- El valor promedio del coeficiente en todos los vehículos es de 75,58, más desplazado hacia el mínimo que hacia el máximo del rango.
- Dado el carácter del coeficiente, es lógica una dependencia con relación al número de marchas, aunque como se expresó anteriormente, el coeficiente depende de otros factores, como la velocidad mínima de movimiento estable en 1ra marcha, los índices de elasticidad, la relación de transmisión total, entre otros.
- Los resultados obtenidos pueden evaluarse de adecuados, para una dependencia teórica, máxime cuando el cúmulo de factores que puede influir en un vehículo determinado en la magnitud del coeficiente es elevado y faltan además en las bases de datos criterios más específicos, que posibiliten una evaluación más profunda del vehículo y sus resultados.

Se estableció además la dependencia del coeficiente de aprovechamiento del área ideal con parámetros funcionales del vehículo, según fue explicado en el Capítulo II. Después de valorar todas las dependencias en particular y combinaciones de las mismas, se propone como la más adecuada la dependencia: $S_a = f(e_M \cdot N_{em\acute{a}x})$. En relación con esto, al evaluar por separado diesel y gasolina no

mejoraron los resultados, por ello se presenta sólo una dependencia para vehículos con ambos tipos de motores (Ver figura 3.1). El modelo que mayor ajuste posee es el Polinomial de 3er grado.

Los resultados mejoran con relación al trabajo de Del Sol Morales, donde se obtienen valores de $S = 3.16$ y $r = 0.78$, ambos peores a los alcanzados en el presente trabajo.



Modelo Polinomial de 3er grado:

$$y = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3$$

Donde:

$$a = 72.272045$$

$$b = -0.054507146$$

$$c = 0.00056604024$$

$$d = -8.2605762e-007$$

$$S = 2.3545 \text{ y } r = 0,8815$$

Fig. 3.1. Dependencia de $S_a = f(e_M \cdot N_{emáx})$.

Coefficiente de recubrimiento (S_o):

Como puede apreciarse de la [tabla 7 del Anexo](#), la mayoría de los valores están entre 40 y 60% (52 vehículos), lo cual se refleja en el valor promedio de 54,21%. Por debajo de 40% sólo hay 2 vehículos. Los vehículos con mayores valores de S_o (entre 60-70%) poseen relaciones de transmisión de 6, 8 y 10 marchas, por lo cual se justifican los altos valores del coeficiente de recubrimiento.

En la [tabla 3.4](#) se comparan los rangos obtenidos en los trabajos de V. Millo, Pérez Gálvez, Del Sol Morales con el trabajo actual. Del análisis de la tabla se desprende:

Tabla 3.4. Comparación de resultados de determinación del coeficiente de recubrimiento (S_o).

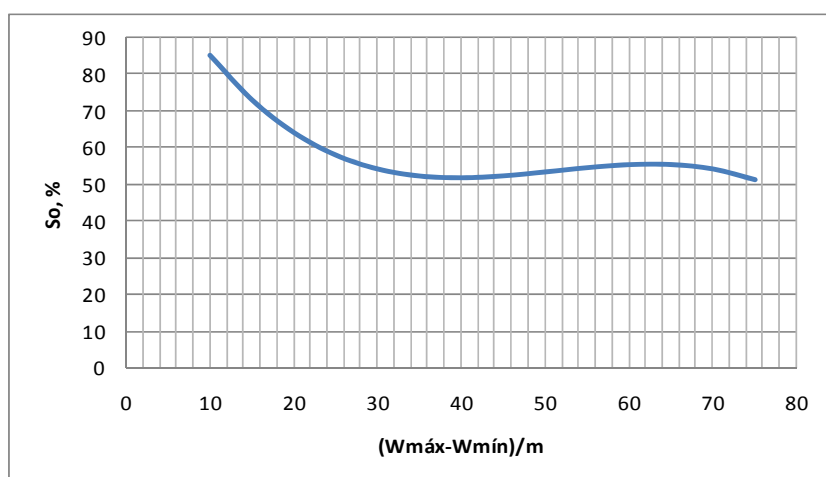
	Millo Carmenate	Pérez Gálvez	Del Sol Morales	Actual
Camiones diesel, %	80 - 382	30 - 58	14 - 72	39 - 70
Vehículos pesados, %	-	30 - 98	-	39 - 70
Vehículos gasolina, %	-	-	-	43 - 54
Promedio	-	-	41,46	54,49

- Los valores extremos obtenidos en el trabajo de V. Millo, por las carencias apuntadas, son muy elevados, valores mínimos del 80% y superiores por encima del 300%, si bien tiene el gran mérito de proponer los indicadores que hoy se evalúan, pues como en todo proceso de investigación, se transita por etapas sucesivas de aproximación a la realidad.
- Con respecto a Pérez Gálvez, quien reduce el rango de variación respecto a V. Millo, se incrementa en el actual trabajo el valor mínimo y decrece el máximo hasta un valor más razonable

en el conjunto de vehículos pesados. Debe notarse que el aumento excesivo del valor máximo en Pérez Gálvez se incrementa a cuenta de los vehículos pesados de gasolina. Si bien se produce un corrimiento del rango en los vehículos diesel, hacia valores superiores, el rango de variación se mantiene aproximadamente igual (28 en Pérez Gálvez, 31 en el trabajo actual). Los vehículos pesados de gasolina tienen en el actual trabajo un rango más estrecho de variación.

- Con respecto a Del Sol Morales, se incrementan los valores mínimos del coeficiente a valores más lógicos y los valores máximos se mantienen en rangos similares. Es por tanto lógico, el incremento en el valor promedio.

Igualmente, se estableció en este caso, la dependencia con respecto a parámetros funcionales del coeficiente. Después de valorar todas las dependencias en particular y combinaciones de las mismas, se propone como la más adecuada la dependencia: $S_o = f\left(\frac{W_{m\acute{a}x}-W_{m\acute{i}n}}{m}\right)$, donde m es el número de marchas en la caja de velocidad. En este caso se obtuvo también un modelo polinomial de 3er grado para vehículos con motores diesel y de gasolina.



Modelo Polinomial de 3er grado:

$$y = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3$$

Donde:

$$a = 121.05528$$

$$b = -4.4433993$$

$$c = 0.091638999$$

$$d = -0.00059753197$$

$$S = 5.62 \text{ y } r = 0.77$$

Fig. 3.2. Dependencia de

$$S_o = f\left(\frac{W_{m\acute{a}x}-W_{m\acute{i}n}}{m}\right)$$

A diferencia del trabajo de Del Sol Morales, aquí se obtiene una sola dependencia para vehículos con motores de gasolina y diesel.

Si bien esta dependencia, sería impensable con las ecuaciones de 3er grado para la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable, con los resultados de la expresión 2.10, esa problemática desaparece.

Coefficiente de selectividad (S_e):

Volviendo a la [tabla 7 del Anexo](#), se pueden apreciar los resultados de la determinación del coeficiente de selectividad en la base de datos de 74 vehículos. A pesar de la simplicidad de su determinación, es un coeficiente complejo, que depende de un número elevado de factores y se

refiere a un concepto poco estudiado. Se exponen a continuación algunas consideraciones sobre los valores extremos:

- Hay 4 vehículos con valores entre 21 y 30%, considerados muy bajos: Son 3 camiones diesel y una cuña, con diferente fórmula de ruedas, 3 de ellos con igual motor, sistemas de transmisión muy semejantes o iguales (pequeñas diferencias) y diferente peso total. Al ser diesel son motores poco elásticos y en los 4 casos coinciden bajos valores de elasticidad de torque, relativamente bajos valores de elasticidad de frecuencia de rotación, con altos valores del rango de relaciones de transmisión de la caja de velocidad. Esto determina en gran medida los bajos valores del coeficiente de selectividad (Ver [tabla 3.5](#)). Note que el vehículo 26, con menor valor de I_s y mayor e_n , tiene el mayor valor del coeficiente de selectividad entre los 4.

Tabla 3.5. Parámetros de vehículos con bajos valores del coeficiente de selectividad.

Vehículo No.	Se	Motor	Fórmula y peso, t	No. de marchas	I_s	e_n	eM
4 cuña	22,82	Diesel	4x2 – 30t	5	7,96	1,4	1,09
18 camión	22,60	Diesel	6x4 – 22,5t	5	7,96	1,4	1,09
20 camión	22,70	Diesel	6x6 – 19,4t	5	7,96	1,4	1,09
26 camión	23,28	Diesel	4x2 – 15,9t	5	7,22	1,64	1,09

- 3 vehículos con valores del coeficiente entre 80-90%, considerados elevados: Se trata de dos camiones y un ómnibus: 1 camión y 1 ómnibus de gasolina y 5 marchas y 1 camión diesel, pero con 6 marchas. En ellos existe una mejor correlación entre el rango de relaciones de transmisión de la caja de velocidad y los valores de elasticidad de torque y frecuencia de rotación, lo que incide en los altos valores del coeficiente. En el camión diesel se utiliza un motor con alta elasticidad de torque y frecuencia de rotación y 6 marchas en la caja de velocidad, pero posee mayor I_s , por lo cual su coeficiente de selectividad es menor que en los casos anteriores, aunque posee valores elevados del coeficiente de selectividad (Ver [tabla 3.6](#)).

Tabla 3.6. Parámetros de vehículos con altos valores del coeficiente de selectividad

Vehículo No.	Se	Motor	Fórmula y peso, t	Número de marchas	I_s	e_n	eM
11 ómnibus	85,92	Gasolina	4x2 – 12t	5	7,91	1,78	1,18
21 camión	86,08	Gasolina	6x6 – 14t	5	7,91	1,6	1,17
30 camión	82,35	Diesel CR	4x2 – 16t	6	8,80	2,2	1,42
31 camión	91,57	Gasolina	4x2 – 10t	5	7,44	1,6	1,22
34 ómnibus	91,62	Gasolina	4x2 – 11t	5	7,44	1,6	1,22
35 ómnibus	91,64	Gasolina	4x2 – 10t	5	7,44	1,6	1,22
48 camión	93,56	Gasolina	6x4 – 12t	5	7,44	1,75	1,24
49 camión	91,73	Gasolina	6x6 – 12t	5	7,44	1,6	1,22
50 camión	93,91	Gasolina	6x6 – 8,7t	5	7,44	2	1,24
65 cuña	92,35	Diesel	4x2 – 17t	8	10,1	1,52	1,27

- 7 vehículos con valores del coeficiente entre 90 y 94%, muy elevados: Dentro de ellos hay 5 vehículos de gasolina con igual motor, semejante o igual sistema de transmisión, que se diferencian en la fórmula de ruedas, tipo de vehículo (camión o ómnibus) y peso total. Existe adecuada correlación entre I_s , e_n y e_M , es decir, moderado valor de I_s y elevados valores de e_n y e_M , lo cual determina los altos valores del coeficiente. La excepción es el último vehículo, que tiene elevado I_s , pero un número de marchas elevado, con moderados valores de e_n y e_M , para un vehículo diesel (Ver tabla 3.6).

En la [tabla 3.7](#) se muestra la comparación de los resultados obtenidos en la determinación del coeficiente de selectividad y sus rangos de variación por Millo, Pérez Gálvez, Del Sol en relación con el trabajo actual.

- Con relación a los vehículos pesados diesel, Pérez Gálvez estrecha el rango obtenido por V. Millo, pero al extenderlo a los vehículos pesados de gasolina el rango se amplía con valores mínimos semejantes y valores máximos mayores que los reportados por Millo para vehículos pesados diesel.

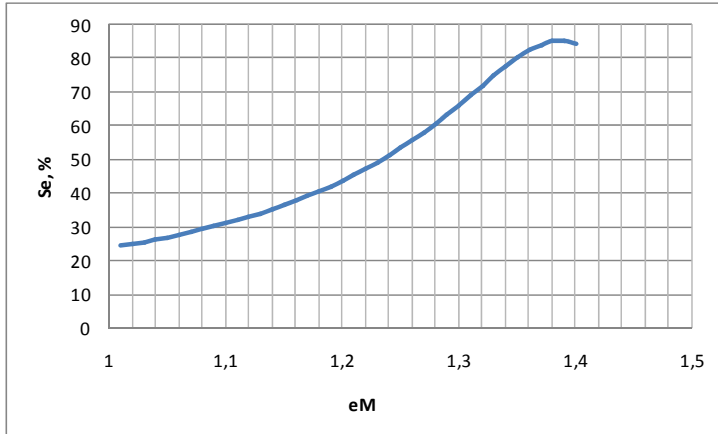
Tabla 3.7. Comparación de resultados de determinación del coeficiente de selectividad (S_e).

	Millo Carmenate	Pérez Gálvez	Del Sol Morales	Actual
Camiones diesel, %	25 - 53	37 - 44	-	21 - 94
Vehículos pesados, %	-	27 - 65	10 - 94	21 - 94
Vehículos gasolina, %	-	-	-	53 - 94
Promedio	-	-	51	57,58

- Del Sol Morales, utilizando una base de datos mayor obtiene valores que oscilan entre 10-94. Se debe aclarar que este coeficiente no depende de la velocidad mínima de movimiento estable, por lo que algunas deficiencias señaladas al trabajo de éste no inciden en sus resultados. En el trabajo actual, precisando mejor los datos técnicos de los 74 vehículos, se eliminan los valores entre 10 y 20%, que resultaban muy bajos. Los altos valores del rango siguen presentes y siguen siendo motivo de preocupación y análisis.
- En el trabajo actual se hizo el análisis global de los vehículos pesados, gasolina y diesel, y se analizaron también estos por separado, para contribuir al mejor análisis en trabajos posteriores.

Igualmente se estableció la dependencia con respecto a parámetros funcionales del coeficiente, pero en este caso fue preciso diferenciar los vehículos con motores de gasolina y diesel, a diferencia del trabajo de Del Sol Morales. Se obtuvo como dependenciamás adecuada para los vehículos con motores diesel y gasolina, la siguiente: $S_e = f(e_M)$.

Esta dependencia en los vehículos con motores diesel se adecua a la función racional, en el caso de los vehículos con motores diesel (figura 3.3) y al modelo polinomial de 3er grado en el caso de los vehículos con motores de gasolina (figura 3.4):



Función Racional:

$$y = \frac{a + b \cdot x}{(1 + c \cdot x + d \cdot x^2)}$$

Donde:

$$a = 6.649154$$

$$b = -4.2938209$$

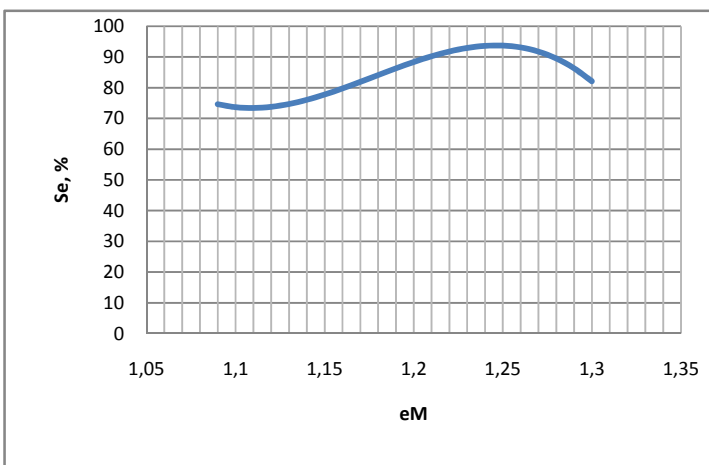
$$c = -1.3800692$$

$$d = 0.47941488$$

$$S = 8.2469 \text{ y } r = 0.8843$$

Fig. 3.3 Dependencia $S_e = f(e_M)$ para los vehículos con motores diesel

En los vehículos con motor de gasolina, el mejor modelo es el siguiente:



Polinomial de 3er grado:

$$y = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3$$

Donde:

$$a = 25286.27$$

$$b = -64649.674$$

$$c = 55088.76$$

$$d = -15593.807$$

$$S = 2.3836 \text{ y } r = 0.9742$$

Fig. 3.4 Dependencia $S_e = f(e_M)$ para los vehículos con motores de gasolina.

Los vehículos pesados con motores de gasolina, no eran muy abundantes en la base de datos y si a eso se le agrega que había vehículos con motores iguales y sistemas de transmisión parecidos, es pertinente señalar que cuando se incremente la base de datos de vehículos pesados de gasolina, deben reelaborarse estas dependencias.

3.4.-Conclusiones parciales

Al concluir el capítulo, arribamos a las siguientes conclusiones:

- Los diferentes resultados alcanzados con los software Derive 4.1 y 5.1, superiores en éste último; las incongruencias detectadas al solucionar las expresiones 1.38 y 2.8, nos muestran las posibilidades que existen de lograr resultados más próximos a la realidad en ecuaciones de 3er grado, con software más potentes y actualizados.
- Los resultados alcanzados por la expresión 2.10, tanto en el marco de los 9 vehículos utilizados por Pérez Gálvez, como en los 19 vehículos con datos experimentales utilizados en el presente trabajo, nos muestran la validez de la misma, para el cálculo teórico de la velocidad mínima de movimiento estable, con porcentos de error relativo cercanos al 5%, muy adecuados para trabajos de ingeniería
- Los resultados obtenidos por la expresión 2.10, además de adecuados en cuanto a magnitud, presentan mayor estabilidad en cuanto al monto de sus resultados en cada vehículo en las diferentes marchas.
- La expresión 2.8, si bien inferior en resultados a la 2.10, muestra un ligero avance en sus resultados con relación a la 1.38 y la posibilidad de continuar profundizando en una metodología, que por sus bases técnicas, pudiera en el futuro, con su perfeccionamiento y con el empleo de herramientas de solución más avanzadas, brindar resultados aún más favorables.
- Las pequeñas diferencias que se aprecian en la determinación de la frecuencia de rotación mínima, en diferentes marchas, en un mismo vehículo, son pequeñas en relación con la magnitud de la frecuencia de rotación (del orden del 0,33% aproximadamente).
- No existen referencias de las magnitudes que deben alcanzar en vehículos de uno u otro tipo, con tales o más cuales características, los coeficientes que valoran la relación motor-sistema de transmisión. Por ello, existe resistencia a dar crédito a algunos valores extremos, que chocan con una lógica, que contradictoriamente no tiene fundamentos. Por ello, los vehículos contemplados en tales rangos, requieren de un estudio muy minucioso y de una ratificación de sus parámetros técnicos.
- Hay que continuar ampliando la base de datos de vehículos pesados, con especial hincapié en los que poseen motores de gasolina, y continuar trabajando en la búsqueda de dependencias funcionales de los coeficientes que representen más ampliamente el parque de vehículos con motores convencionales de gasolina y diesel.
- El coeficiente de aprovechamiento del área ideal, brinda con la expresión 2.10, resultados que se corresponden con la lógica. Rangos de variación entre 69 – 88% resultan adecuados, atendiendo

a que los mayores coeficientes se presentan en vehículos con elevado número de marchas, en correspondencia con el rango de relaciones de transmisión de la caja de velocidad.

- De igual manera, los valores del coeficiente de recubrimiento, resultan, a la luz de la lógica, adecuados (39-70%).
- A pesar de que el análisis de los resultados extremos del coeficiente de selectividad se ha tratado de realizar de la forma más profunda posible, no cabe dudas que los valores alrededor del 94 % generan inquietud. Estos casos deben estudiarse con más profundidad y enfatizar en la búsqueda de datos de tales vehículos que posibiliten verificar los de la base de datos. En otro sentido, emplear otros métodos de verificación, que aunque más artesanales den resultados más confiables.

CONCLUSIONES GENERALES

Al concluir el trabajo se arriba a las siguientes conclusiones:

1. El trabajo de diploma cumple satisfactoriamente con los objetivos definidos para el mismo.
2. La evaluación del error relativo promedio indica claramente que la expresión 2.10, es la que mejores resultados ofrece en la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable, además de que es una expresión más sencilla.
3. Si bien hemos resaltado la importancia de esta expresión desde el punto de vista investigativo, para un sinnúmero de cálculos prácticos y para la determinación de los coeficientes que rigen la relación motor-sistema de transmisión, la sencillez de su determinación abre mayores posibilidades de utilizarla con fines docentes.
4. A pesar de que la comparación de las velocidades mínimas de movimiento estable calculadas en relación con las obtenidas experimentalmente, constituye una forma de validación, no debe desecharse la posibilidad de validar experimentalmente la expresión 2.10, en vehículos de uso en el país.
5. La escasa diferencia entre las frecuencias de rotación a que se alcanza la velocidad mínima de movimiento estable en cada marcha, en cada vehículo, invitan a la profundización, con vistas a establecer o rechazar el criterio de que puede ser la misma para todas las marchas de un vehículo determinado.
6. Con la excepción de valores elevados del coeficiente de selectividad en algunos vehículos, las magnitudes de los coeficientes que valoran la relación motor-sistema de transmisión son adecuados y lógicos.
7. Con relación a las dependencias funcionales de los coeficientes que valoran la relación motor-sistema de transmisión, no se trata de alcanzar un ajuste elevado, porque su finalidad es proporcionar un estándar promedio para los vehículos de su clase.

RECOMENDACIONES

Al concluir el trabajo se realizan las siguientes recomendaciones:

1. Continuar el trabajo de perfeccionamiento de las expresiones que determinan la velocidad mínima de movimiento estable.
2. Avalar experimentalmente los resultados alcanzados en el presente trabajo, en vehículos de uso en el país.
3. Trabajar en la determinación de la velocidad mínima de movimiento estable y de los coeficientes que establecen la dependencia motor-relación de transmisión en vehículos ligeros, en los cuales se poseen bases de datos más confiables, que muestran incluso su característica exterior de velocidad en motores convencionales y de inyección de gasolina.
4. Introducir el uso de la expresión [2.10](#), en la tarea compleja de la asignatura “Máquinas Automotrices”, en el 4to año de Ingeniería Mecánica.
5. Continuar trabajando con el uso de software profesionales avanzados en la solución de las expresiones cúbicas que determinan la velocidad mínima de movimiento estable.

BIBLIOGRAFÍA

- Aragón Marrero, R. (1988). Metodología de evaluación técnica de oferta de automóviles de carga.
- Arias Paz, M. (2004). Manual de Automóviles (5º ed.). España: Dossat.
- Bennet, C.R. (2001). Modelling Road User and environmental Effects in HMD-4. Washington, D.C: The World Bank.
- Besseling, B. C. (2012). Tractive efficiency of four-wheel-drive vehicles: an analysis for non-uniform traction conditions. *AutomobileEngineering*, 317(Part D).
- Borovskij, B. E. (1989). Seguridad del movimiento del transporte automotor. Leningrado: MIR.
- Cárdenas Garnier, M. A. (2006). Criterios y metodología para la determinación de los parámetros dinámicos y cinemáticas para la remotorización. Presented at the 4to Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica. La Habana: ISPJAE
- Castillo Asencio, O, & Raña González, A. (2006). Evaluación y Selección de ofertas de vehículos destinados a la transportación de carga. Presented at the 4to Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica, La Habana, CUBA, ISPJAE.
- Del Sol Morales, A. (2014). Coeficientes de evaluación de la relación motor-sistema de transmisión (Trabajo de Diploma). Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos.
- Fillipini, G.; Corzo, S.; Nigro, N. (2009). Sistemas multicuerpos en dinámica vehicular (Vol. 27). Tandil, Argentina. Retrieved from: <http://www.amcaonline.org.ar>.
- Fuentes Vega, J. R, & Pérez Gálvez, R. (2004). Energética en el Transporte Automotor. Cienfuegos: Universo Sur.
- Fuentes Vega, J.R. (2014). Máquinas Automotrices. In Folleto de la asignatura "Máquinas Automotrices: Universo Sur.
- Fukuhara, T. (2008). Method for measuring road surface longitudinal profile.

- Georgiev, T. (2003). Test software for outlining of road vehicle dynamic characteristic. Presented at the International Conference Computer Systems and Technologies, Rousse, Bulgaria.
- Gillespie, T. H. (2001). Fundamentals of Vehicle Dynamic (Published by Society of Automotive Engineers.). EE. UU.
- Guerrero, Daniel. (2009). Inyección de combustible. Trabajo de Curso de la asignatura “Motores de combustión interna, Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena de Indias.
- Hillier, V.A.W; Coombes, P.; Rogers, D. (2006). Fundamentals of motor vehicle technology (5º ed.). Eslovenia: GreenGate Publishing Services.
- Husain, I. (2005). Electric and hybrid vehicles: design fundamentals. Florida, EE.UU: Taylor & Francis e-Library. Retrieved from www.crcpress.com.
- Illarionov, V. A. (1985). Teoría y construcción de automóviles. Moscú: MIR.
- Ivorra, C. (2014). Las fórmulas de Cardano-Ferrari para la solución de ecuaciones de 3er y 4to grado. Retrieved from: <http://www.uv.es/ivorra/Libros/Ecuaciones.pdf>.
- Jacobs, C. S. (2004). Method of estimating vehicle deceleration during a transmission gear shift.
- Jazar, R. N. (2008). Vehicle Dynamics: Theory and Applications. Springer.
- Johansson, K. (2005). Road Slope Estimation with Standard Truck Sensors. (Department of Signals, Sensors and Systems.).
- Larminie, J. (2003). Electric Vehicle Technology Explained. Inglaterra: John Wiley and Sons.Ltd.
- Litvinov, A. S. & Farovin, Y. E. (1989). El automóvil: Teoría de cualidades de explotación. Moscú: Construcción de Maquinarias.
- Martesan Parellada, A. (2008). Eficiencia energética. Departamento de Urbanismo y Ordenación del Territorio de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, España. Retrieved from: <http://habitat.ag.upm.es/temas/a-eficiencia-energetica.html>.

- Millo Carmenate, V.; Fuentes Vega, J. R.; Cogollos Martínez, J.B. (2003). Establecimiento de criterios para la selección y/o comparación de camiones diesel. Tesis en opción al grado científico de Dr. En Ciencias Técnicas, Cienfuegos.
- Muñoz, A.; D. Peraza; Toledo Dorrego, A. (2006). Sistema de Evaluación de Cualidades Dinámicas y de Consumo. (Trabajo de Diploma), Cienfuegos.
- Nam, E. & Giannelli, R. (2005). Consumption Modelling of Conventional and Advanced Technology Vehicles in the Physical Emission Rate Estimator (PERE) (Environmental Protection Agency.). OTAC, U.S.
- O'Keefe, M., et al. (2003). Composite Drive Cycle for the Evaluation and Test of Heavy Duty Hybrid Electric Class 4-6 Urban Delivery Vehicles. Presented at the International Truck and Bus Meeting and Exhibition. Fort Worth Convention Center, Texas USA.
- Pacejka, H. (2006). Tyre and vehicle dynamics (2º ed.). Elsevier.
- Pérez Gálvez, R., J. Fuentes Vega, et al. (2006). La eficiencia mecánica de la transmisión y los criterios de evaluación vehicular. Presented at the 4to Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica, CCIM, La Habana: ISPJAE.
- Pérez Gálvez, R.; Fuentes Vega, J. R.; Cogollos Martínez, J.B. (2007). Modelación de ciclos de viaje e indicadores dinámicos y de consumo para vehículos pesados. Tesis en opción al grado científico de Dr. En Ciencias Técnicas, Cienfuegos.
- Pop, K. & Schiehlen, W. (2010). Ground Vehicle Dynamics. Springer.
- Raña González, L. D. A., O. Castillo Asencio, et al. (2004). Cómo elevar la eficiencia en la selección de vehículos.
- Rexeis, M., et al. (2005). Heavy duty vehicle emissions. Graz University of Technology (TUG), Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics.
- Rill, G. (2003). Vehicle dynamics. University of Applied Sciences. Alemania: FH Regensburg.
- Samaniego Castro, R. E, & Silva Ortiz, A. V. (2009). Análisis de fuerzas en el tren motriz en vehículos pesados. (Trabajo de Diploma), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- Wallentowitz, H. (2004). Longitudinal dynamics of vehicles (4º ed.). Alemania: Staff. Aachen.

- Walsh, M, & Kolke, R. (2003). Combustibles y tecnologías vehiculares más limpias. Deutsche GessellschaftfürTechnischeZusammenarbeit (GTZ), Alemania. Retrieved from: <http://www.gtz.de>.
- Wolfram. (2014). Método de solución de ecuaciones de 3er grado. Programa Matemática. Retrieved from: http://www.josechu.com/ecuaciones_polinomicas/cubica_solucion_es.htm.
- Wong, J. Y. (2001). Theory of Ground Vehicles (Third.): John Wiley & Sons.

Tabla 1. Valores de las constantes k, l, m y n para la determinación de la eficiencia. (Pérez Gálvez, 2007)

Ubicación del motor		Ubicación del puente motriz			Fórmula de ruedas						Coeficientes							
					4x2	4x4		6x4		6x6		k		l	m	n		
Delantero	Trasero	Delantero	Intermedio	Trasero			Con	Des	Con	Des	Con	Des	MD			RM		
ML				x	x								0	2	1	1	14	15
ML		x			x								0	2	1	1 ⁵	120	13
MT		x			x							-	3	0	1 ⁵	-	13	
	ML			x	x							0	2	1	1		12	13
ML		x		x			x					0 ¹ y 2 ²	2 ¹ y 4 ²	1	1	25 ¹ -28 ²	26 ¹ -27 ²	
							x					0 ¹ y 2 ²	2 ¹ y 4 ²	2	2	29	30	
ML			x	x				x				0 ¹ y 2 ²	2 ¹ y 4 ²	2	2	29	30	
ML		x	x	x							x ³	0 ¹ y 2 ²	2 ¹ y 4 ²	2	3	25 ¹ -28 ²	26 ¹ -29 ²	
											x ³	0 ¹ y 2 ²	2 ¹ y 4 ²	3	4	37	38	
ML		x	x	x							x ⁴	0 ¹ y 2 ²	2 ¹ y 4 ²	2	2	25 ¹ -28 ²	26 ¹ -29 ²	
											x ⁴	0 ¹ y 2 ²	2 ¹ y 4 ²	3	3	37	38	

Nomenclatura:

ML-motor lineal

MT-motor transversal

Con – Significa conectados todos los puentes motrices

Des – Significa desconectado el puente motriz delantero

MD –Marcha directa

RM –Resto de las marchas

1 – Sin reducción en la caja de transferencia ($i_{ct}=1$)

2 – Con reducción en la caja de transferencia ($i_{ct}\neq 1$)

3 – Transmisión independiente de la caja de transferencia al puente intermedio y al puente trasero

4 – Transmisión de la caja de transferencia al puente intermedio y de ahí, al puente trasero.

5- A pesar de que estas variantes no poseen transmisión cardánica, poseen una unión homocinética, cuyas pérdidas se consideran semejantes a las de la transmisión cardánica.

Nota: En el caso de puentes motrices con dos reducciones, hay que incrementar un par en k y dos cojinetes en n, para cualquier variante.

Tabla 2. Datos técnicos de los vehículos vinculados con resultados experimentales

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tipo de vehículo	Camión	Camión	Cuña	Ómnibus	Ómnibus	Ómnibus	Camión	Ómnibus	Camión	Camión
Fórmula de ruedas	4x2	4x2	4X2	4x2	4x2	4x2	4x4	4x4	6x4	6x6
Norma utilizada	GOST	GOST	GOST	GOST	GOST	GOST	GOST	GOST	GOST	GOST
Motor: (G o D)	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel
Nemáxfab, kW	55,2	84,6	176,5	84,6	84,6	132,4	84,6	84,6	176,5	176,50
nN, rpm	3200	3200	2100	3200	3200	3200	3200	3200	2100	2100
Memáxfab, N.m	205,9	284,4	882,6	284,4	284,4	465,8	284,4	284,4	882,6	882,60
nM, rpm	2000	2000	1500	2000	2000	1800	2000	2000	1500	1500
isl	0,1562	0,1527	0,1901	0,1527	0,1527	0,1621	0,1527	0,1527	0,1901	0,1901
islI	0,3236	0,3236	0,3448	0,3236	0,3236	0,2941	0,3236	0,3236	0,3448	0,3448
islII	0,5917	0,5848	0,6579	0,5848	0,5848	0,5586	0,5848	0,58489	0,6579	0,6579
islIV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
islV	0	0	1,5151	0	0	1,2820	0	0	1,5151	1,5151
imI	0,1464	0,1464	0,1381	0,1464	0,1464	0,1329	0,1464	0,1464	0,1218	0,1218
imII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
imIII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
imIV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ictII	0	0	0	0	0	0	0,5045	0,5094	0,4386	0,4386
ictI	0	0	0	0	0	0	1	1	0,8130	0,8130
G, N	50717,7	72594	317353,5	64206,45	76763,25	127510,38	56898	70190,55	220725	190461,15
Número de ruedas	6	6	6	4	4	6	4	6	10	6
Do, plg	20	20	20	20	20	20	18	20	20	21,15
bo, plg	7,5	8,25	11	8,25	8,25	10	12	8,25	12	15,83
B, m	1,65	1,8	1,97	1,63	1,94	2,1	1,8	1,8	1,95	2,16
H, m	2,15	2,4	2,72	2,93	2,952	2,98	2,52	3,044	2,67	2,87
Gr, N	24525	39240	142245	-	-	-	19620	-	196200	294300

	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Tipo de vehículo	Camión	Camión	Ómnibus	Ómnibus	Camión	Camión	Camión	Camión	Cuña
Fórmula de ruedas	6x6	4x2	4x2	4x2	6x6	6x6	6x4	6x4	6x4
Norma utilizada	GOST	GOST	GOST	GOST	GOST	GOST	GOST	GOST	GOST
Motor: (G o D)	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Diesel
Nemáxfab, kW	132,4	110,3	110,3	110,3	110,3	80,9	154,4	154,4	162
nN, rpm	3200	3200	3200	3200	3200	2800	2600	2600	2800
Memáxfab, N.m	465,8	402	402	402	402	343,2	637,4	637,4	820
nM, rpm	1800	1800	1800	1800	1800	1100	1400	1400	1800
isl	0,16211	0,1344	0,1344	0,1344	0,1344	0,1344	0,1568	0,15674	0,1567
islI	0,29411	0,2439	0,2439	0,2439	0,2439	0,2439	0,3039	0,30394	0,3039
islII	0,5586	0,4367	0,4367	0,4367	0,4367	0,4367	0,4902	0,4902	0,4902
islIV	1	0,6803	0,6802	0,6803	0,6803	0,6803	0,8	0,8	0,8
islV	1,2821	1	1	1	1	1	1,2346	1,2346	1,2346
imI	0,1242	0,1330	0,1330	0,1433	0,1362	0,1499	0,1386	0,1386	0,1385
imII	0	0	0	0	0	0	0,1532	0,1532	0,1531
imIII	0	0	0	0	0	0	0,1684	0,1684	0,1683
imIV	0	0	0	0	0	0		0,1842	0,1842
ictII	0,4651	0	0	0	0,4808	0,4405	0	0	0
ictI	0,7692	0	0	0	1	0,8620	0	0	0
G, N	146414,25	103250,25	113894,1	106732,8	114629,85	85248,9	150142,05	180749,25	254079
Número de ruedas	6	6	4	4	6	6	10	10	10
Do, plg	20	20	20	20	20	18	20	20	20
bo, plg	14	9	10	10	12	12	9	9	9
B, m	2	1,8	2,116	2,116	1,82	1,755	2,025	1,97	1,97
H, m	2,98	2,4	2,95	2,98	2,975	2,115	3,65	3,65	3,65
Gr, N	98100	78480	-	-	63765	49050	112815	137340	148376,25

Tabla 3. Relaciones de transmisión de los KAMAZ

Vehículo	5320	53212	5410
Valores de relación de transmisión de la caja de velocidad			
isl	0,12787724	0,12787724	0,12787724
isl-m	0,15673981	0,15673981	0,15673981
islI	0,24813896	0,24813896	0,24813896
islI-m	0,30395137	0,30395137	0,30395137
islII	0,4	0,4	0,4
islII-m	0,49019608	0,49019608	0,49019608
islIV	0,65359477	0,65359477	0,65359477
islIV-m	0,8	0,8	0,8
isV	1	1	1
isV-m	1,2345679	1,2345679	1,2345679
Valores de relación de transmisión principal			
imI	0,13850416	0,13850416	0,13850416
imII	0,15313936	0,15313936	0,15313936
imIII	0,16835017	0,16835017	0,16835017
imIV		0,18416206	0,18416206

Tabla 4.Comparación de las velocidades mínimas de movimiento estable obtenidas por diferentes métodos

Vehículo	Marcha	V _{mín} experimental, m/s	V _{mín} (1.38), m/s	Error relativo, %	V _{mín} (2.8), m/s	Error relativo, %	V _{mín} (2.10), m/s	Error relativo, %
4x2 Camión 55,2kW Gasolina 5,17t	1ra	0,611	0,65	6,35	0,635	3,86	0,6012	1,62
	2da	1,305	1,5	15,22	1,318	1,00	1,2478	4,42
	3ra	2,389	2,88	20,52	2,427	1,59	2,2892	4,17
	4ta	3,889	4,91	26,2	4,030	3,63	3,8886	0,01
	5ta	-	-	-	-	-	-	-
4x2 Camión 79,5kW Gasolina 7,40t	1ra	0,639	0,68	6,54	0,723	13,28	0,6782	6,16
	2da	1,361	1,57	15,56	1,539	13,08	1,4412	5,89
	3ra	2,500	2,97	18,92	2,801	12,04	2,6142	4,57
	4ta	4,167	5,14	23,29	4,746	13,92	4,4974	7,94
	5ta	-	-	-	-	-	-	-
6x4 Camión 154,4kW Diesel 15,3t	1ra	0,861	0,82	4,65	0,694	19,37	0,8381	2,67
	2da	1,666	1,51	9,23	1,351	18,92	1,6294	2,24
	3ra	3,333	2,53	23,97	2,191	34,26	2,6363	5,09
	4ta	4,444	4,29	3,47	3,475	21,80	4,3259	2,67
	5ta	6,944	6,99	0,66	5,798	16,49	6,7270	3,13
6x4 Camión 154,4kW Diesel 18,42t	1ra	0,777	0,86	10,57	0,754	3,00	0,7622	2,00
	2da	1,527	1,77	15,85	1,468	3,87	1,4815	3,03
	3ra	2,500	2,97	18,80	2,382	4,69	2,3963	4,15
	4ta	4,166	5,03	20,72	3,782	9,72	3,9301	5,68
	5ta	6,111	8,28	35,49	6,323	3,46	6,1072	0,06
4x4 Camión 84,6kW Gasolina 5,80t	1ra	0,694	0,63	8,69	0,669	3,61	0,7662	10,34
	2da	1,500	1,44	3,81	1,58	5,74	1,6287	8,58
	3ra	2,694	2,73	1,30	2,89	7,28	2,9558	9,69
	4ta	4,444	4,71	5,98	4,93	10,93	5,0890	14,50
	5ta	-	-	-	-	-	-	-

Vehículo	Marcha	V _{mín} experim, m/s	V _{mín} (1.38), m/s	Error relativo, %	V _{mín} (2.8), m/s	Error relativo, %	V _{mín} (2.10), m/s	Error relativo, %
6x4 Camión 176,5kW Diesel 19,41t	1ra	1	0,90	9,90	0,87	12,29	1,0330	3,30
	2da	1,833	1,73	5,38	1,59	12,95	1,8788	2,48
	3ra	3,333	3,46	3,77	3,06	7,91	3,6046	8,14
	4ta	5,277	5,46	3,51	4,57	13,37	5,5125	4,44
	5ta	8,055	9,15	13,61	7,44	7,60	8,4299	4,65
6x4 Camión 176,5kW Diesel 22,5t	1ra	0,916	0,90	1,53	0,79	13,37	0,8646	5,67
	2da	1,666	1,74	4,26	1,34	13,44	1,5719	5,69
	3ra	3,055	3,47	13,41	2,77	9,23	3,0129	1,39
	4ta	4,722	5,48	15,97	4,11	12,83	4,6030	2,52
	5ta	7,222	9,20	27,41	6,59	8,64	7,0283	2,68
4x2 Camión 176,5kW Diesel 32,35t	1ra	0,972	0,91	6,18	0,78	19,37	0,9381	3,51
	2da	1,666	1,72	3,47	1,59	4,55	1,7057	2,34
	3ra	3,333	3,44	3,16	3,00	9,78	3,2707	1,88
	4ta	5,000	5,44	8,88	5,56	11,32	4,9990	0,02
	5ta	7,500	8,59	14,81	8,21	9,57	7,6380	1,84
6x4 Camión 162kW Diesel 25,9t	1ra	0,722	0,66	8,61	0,73	2,14	0,6940	3,91
	2da	1,388	1,35	2,80	1,43	3,30	1,3487	2,89
	3ra	2,222	2,27	2,15	2,32	4,42	2,1809	1,86
	4ta	3,611	3,63	3,06	3,72	3,10	3,5752	0,99
	5ta	5,555	5,95	7,10	5,93	6,86	5,5523	0,06
4x2 Ómnibus 84,6kW Gasolina 6,54t	1ra	0,7778	-	-	0,7019	9,75	0,6815	12,38
	2da	1,6667	-	-	1,4926	10,44	1,4481	13,11
	3ra	3,0556	-	-	2,7157	11,12	2,6267	14,03
	4ta	5,0000	-	-	4,5998	8,00	4,5190	9,62

Vehículo	Marcha	Vmínexperim , m/s	Vmín(1.38) , m/s	Error relativo, %	Vmín(2.8) , m/s	Error relativo, %	Vmín (2.10), m/s	Error relativo, %
4x2 Ómnibus 84,6kW Gasolina 7,82t	1ra	0,6389	-	-	0,7805	22,17	0,678 2	6,16
	2da	1,3611	-	-	1,6686	22,59	1,441 2	5,89
	3ra	2,4722	-	-	2,0408	17,44	2,614 2	5,74
	4ta	4,1667	-	-	5,1816	24,36	4,497 4	7,94
	5ta	-	-	-	-	-	-	-
4x2 Ómnibus 132,4kW Gasolina 12,99t	1ra	0,6944	-	-	0,6881	0,90	0,681 4	1,88
	2da	1,1944	-	-	1,2520	4,82	1,238 7	3,70
	3ra	2,2222	-	-	2,3940	7,73	2,361 4	6,26
	4ta	3,8889	-	-	4,2090	8,23	4,252 6	9,35
	5ta	5,0000	-	-	5,7158	14,31	5,473 3	9,46
4x4 Ómnibus 84,6kW Gasolina 7,15t	1ra	0,7778	-	-	0,7597	2,32	0,681 5	12,38
	2da	1,6667	-	-	1,6161	3,02	1,448 1	13,11
	3ra	3,0556	-	-	2,9441	3,64	2,626 7	14,03
	4ta	5,0000	-	-	5,0111	0,22	4,519 0	9,62
	5ta	-	-	-	-	-	-	-
6x6 Camión 132,4kW Diesel 14,92t	1ra	0,6667	-	-	0,7290	9,35	0,585 8	12,13
	2da	1,1944	-	-	1,3266	11,06	1,064 7	10,86
	3ra	2,2778	-	-	2,5367	11,37	2,028 7	10,94
	4ta	4,1667	-	-	4,4591	7,01	3,650 3	12,39
	5ta	5,2778	-	-	6,0455	14,54	4,695 5	11,03
4x2 Camión 132,4kW 10,52t Gasolina	1ra	0,5556	-	-	0,4678	15,78	0,519 3	6,52
	2da	0,9167	-	-	0,8505	7,21	0,943 7	2,95
	3ra	1,6667	-	-	1,5282	8,30	1,693 7	1,62
	4ta	2,5000	-	-	2,3026	7,89	2,646 6	5,86
	5ta	3,7500	-	-	3,5516	5,29	3,906	4,16

							2	

Vehículo	Marcha	V _{mín} experimental, m/s	V _{mín} (1.38), m/s	Error relativo, %	V _{mín} (2.8), m/s	Error relativo, %	V _{mín} (2.10), m/s	Error relativo, %
4x2 Ómnibus 110,3kW Gasolina 11.61t	1ra	0,5556	-	-	0,5352	3,65	0,5452	1,86
	2da	1,0556	-	-	0,9734	7,77	0,9908	6,14
	3ra	1,6667	-	-	1,7505	5,03	1,7784	6,70
	4ta	2,7778	-	-	2,6429	4,85	2,7793	0,06
	5ta		-	-	4,0997	1,09		
		4,0556					4,1030	1,17
4x2 Ómnibus 110,3kW Gasolina 10,9t	1ra	0,5556	-	-	0,5449	1,91	0,5875	5,74
	2da	1,0556	-	-	0,9910	6,11	1,0677	1,15
	3ra	1,9167	-	-	1,7825	6,99	1,9168	0,01
	4ta	2,7778	-	-	2,6920	3,08	2,9965	7,87
	5ta		-	-	4,1828	4,69		
		4,3889					4,4250	0,82
6x6 Camión 110,3kW Gasolina 11,7t	1ra	0,6111	-	-	0,6480	6,04	0,6117	0,09
	2da	1,1111	-	-	1,1791	6,11	1,1118	0,06
	3ra	1,9444	-	-	2,1227	9,16	1,9963	2,66
	4ta	3,0556	-	-	3,2113	5,09	3,1211	2,14
	5ta		-	-	5,0092	12,70		
		4,4444					4,6100	3,72
6x6 Camión 80,9kW Gasolina 8,7t	1ra	0,6389	-	-	0,5799	9,23	0,6291	1,53
	2da	1,1667	-	-	1,0548	9,58	1,1435	1,99
	3ra	1,9444	-	-	1,8978	2,39	2,0533	5,60
	4ta	3,0556	-	-	2,8618	6,34	3,2106	5,07
	5ta		-	-	4,4502	5,75		
		4,7222					4,7429	0,44

Tabla 5. Datos técnicos de los 74 vehículos contemplados en la base de datos

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tipo de vehículo	Camión	Camión	Camión	Cuña	Ómnibus	Camión	Camión	Camión	Camión	Ómnibus
Fórmula de ruedas	4x2	4x2	4x2	4X2	4x2	4x2	4x2	4X2	4x2	4x2
Norma utilizada	GOST	GOST	GOST	GOST	GOST	SAE	SAE	SAE	DIN	GOST
Motor: (G o D)	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Gasolina
Nemáxfab, kW	55,2	55,2	84,6	176,5	84,6	106	85	85	103,776	84,6
nN, rpm	3000	3200	3200	2100	3200	2600	3600	3600	2600	3200
Memáxfab, N.m	205,40	205,90	284,40	882,60	284,40	462,00	285	285	462,00	284,40
nM, rpm	2000	2000	2200	1500	2200	1500	2100	2100	1500	2200
isl	0,1543	0,1563	0,1527	0,1901	0,1527	0,1969	0,1994	0,1673	0,1969	0,1527
islI	0,3236	0,3236	0,3236	0,3448	0,3236	0,3846	0,3743	0,2912	0,3846	0,3236
islII	0,5848	0,5917	0,5848	0,6579	0,5848	0,6536	0,6309	0,5371	0,6536	0,5848
islV	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,7710	1,0000	1,0000
islV				1,5152		1,2987	1,2987	1,0000	1,2987	
islVI								1,2594		
islVII										
islVIII										
islIX										
islX										
im1	0,1499	0,1464	0,1464	0,1381	0,1464	0,2160	0,1628	0,1628	0,2160	0,1464
im2										
im3										
im4										
ict2										
ict1										
G, N	53612	50718	72594	317354	64206	66708	34826	51012	68180	76763
Do, plg	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	16,00	15,00	15,00	20,00	20,00
Bo, plg	7,50	7,50	8,25	11,00	8,25	7,50	7,00	7,00	11,00	8,25
B, m	1,58	1,65	1,80	1,97	1,63	2,21	1,84	1,85	2,21	1,94
H, m	2,19	2,15	2,40	2,72	2,93	2,03	2,40	3,36	2,03	2,95

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Tipo de vehículo	Ómnibus	Camión	Camión	Camión	Camión	Camión	Ómnibus	Camión	Camión	Camión
Fórmula de ruedas	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x4	4x4	6x4	6x4	6x6
Norma utilizada	GOST	SAE	SAE	DIN	GOST	GOST	GOST	GOST	GOST	GOST
Motor: (G o D)	Gasolina	Diesel	Diesel	Diesel	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Diesel
Nemáxfab, kW	132,4	184,00	158,24	85	84,6	84,6	84,6	176,5	150,4	176,50
nN, rpm	3200	2800	2200	2400	3200	3200	3200	2100	2600	2100
Memáxfab, N.m	465,80	894,84	847,39	400,00	284,40	284,40	284,40	882,60	720,00	882,60
nM, rpm	1800	1800	1400	1600	2200	2200	2200	1500	1500	1500
isl	0,1621	0,1621	0,1242	0,1736	0,1527	0,1527	0,1527	0,1901	0,1783	0,1901
islI	0,2941	0,2941	0,2941	0,3788	0,3236	0,3236	0,3236	0,3448	0,3460	0,3448
islII	0,5587	0,5587	0,5587	0,6536	0,5848	0,5848	0,5848	0,6579	0,6098	0,6579
islIV	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
islV	1,2821	1,2821	1,2821	1,2987				1,5152	1,3831	1,5152
islVI										
islVII										
islVIII										
islIX										
islX										
im1	0,1330	0,1425	0,1425	0,1859	0,1464	0,1464	0,1464	0,1218	0,1366	0,1218
im2				0,2160						
im3										
im4										
ict2						0,5045	0,5094	0,4386	0,4651	0,4386
ict1						1,0000	1,0000	0,8130	0,7692	0,8130
G, N	127510	184281	184281	76028	58566	56898	70191	220725	134054	190461
Do, plg	20,00	20,00	20,00	17,50	18,00	18,00	20,00	20,00	20,00	21,15
Bo, plg	10,00	14,00	14,00	8,50	12,00	12,00	8,25	12,00	14,00	15,83
B, m	2,10	2,20	2,20	1,70	1,80	1,80	1,80	1,95	2,00	2,16
H, m	2,98	2,54	2,54	1,30	2,52	2,52	3,04	2,67	2,87	2,87

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Tipo de vehículo	Camión	Camión Cuña	Camión	Camión	Camión	Camión	Camión	Camión	Camión	Camión
Fórmula de ruedas	6x6	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4X2
Norma utilizada	GOST	SAE	DIN	SAE	SAE	SAE	DIN	SAE	SAE	SAE
Motor: (G o D)	Gasolin a	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
Nemáxfab, kW	132,4	122	122	169	169	154,56	127	130	110,4	176,64
nN, rpm	3200	2500	2600	3200	3200	2300	2400	3200	3200	3200
Memáxfab, N.m	465,80	569,00	569,00	667,00	667,00	705,03	600,00	500,00	402,00	706,00
nM, rpm	2000	1500	1500	1500	1500	1400	1700	1500	1500	1450
isl	0,1621	0,1242	0,1242	0,1488	0,1488	0,1385	0,1242	0,1565	0,1673	0,1488
islI	0,2941	0,2299	0,2299	0,2356	0,2356	0,2571	0,2299	0,2655	0,2912	0,2356
islII	0,5587	0,4082	0,4082	0,3876	0,3876	0,4505	0,4082	0,4476	0,5371	0,3876
islIV	1,0000	0,6757	0,6757	0,6494	0,6494	0,7874	0,6757	0,6935	0,8857	0,6494
islV	1,2821	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
islVI				1,3106	1,3106			1,2788	1,3004	1,3106
islVII										
islVIII										
islIX										
islX										
im1	0,1242	0,1471	0,1572	0,1628	0,1555	0,2160	0,1471	0,2195	0,2195	0,1628
im2		0,2049	0,2193			0,1585	0,2049			
im3										
im4										
ict2	0,4651									
ict1	0,7692									
G, N	146414	138321	138321	137340	156960	155734	129492	83385	73575	166770
Do, plg	20,00	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	20,00	17,50	16,00	22,50
Bo, plg	14,00	7,50	7,50	10,00	11,00	11,00	9,00	6,00	6,00	8,25
B, m	2,00	2,42	2,43	1,65	1,80	1,75	2,09	1,97	1,95	2,40
H, m	2,98	2,73	2,47	2,15	2,40	2,06	2,33	2,28	2,26	2,28

	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Tipo de vehículo	Camión	Camión	Cuña	Ómnibus	Ómnibus	Cuña	Camión	Camión	Camión	Cuña
Fórmula de ruedas	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2
Norma utilizada	GOST	DIN	DIN	GOST	GOST	GOST	SAE	SAE	SAE	DIN
Motor: (G o D)	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
Nemáxfab, kW	110,3	104	124,95	110,3	110,3	117,80	119,232	119,232	130,272	133
nN, rpm	3200	2800	2700	3200	3200	1900	2500	2600	2700	2700
Memáxfab, N.m	402,00	402,00	560,00	402,00	402,00	686,00	569,00	569,00	560,00	560,00
nM, rpm	2000	2000	1400	2000	2000	1200	1500	1500	1400	1400
isl	0,1344	0,1645	0,1466	0,1344	0,1344	0,1309	0,1242	0,1242	0,1466	0,1466
islI	0,2439	0,2092	0,2717	0,2439	0,2439	0,2342	0,2299	0,2299	0,2717	0,2717
islII	0,4367	0,3636	0,4651	0,4367	0,4367	0,3846	0,4082	0,4082	0,4651	0,4651
islIV	0,6803	0,6024	0,7813	0,6803	0,6803	0,6289	0,6757	0,6757	0,7813	0,7813
islV	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
islVI										
islVII										
islVIII										
islIX										
islX										
im1	0,1330	0,1458	0,1706	0,1330	0,1433	0,2049	0,2083	0,1572	0,1706	0,1224
im2			0,1224				0,1471			0,1706
im3										
im4										
ict2										
ict1										
G, N	103250	125500	102024	113894	106733	59351	138321	138321	127530	127225
Do, plg	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Bo, plg	9,00	9,00	10,00	10,00	10,00	11,00	11,00	14,00	11,00	7,50
B, m	1,80	2,30	2,45	2,12	2,12	2,35	2,22	2,20	1,97	2,45
H, m	2,40	2,51	2,86	2,95	2,98	2,75	2,73	2,47	2,86	2,86

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Tipo de vehículo	Camión	Cuña	Cuña	Cuña	Cuña	Camión	Camión	Camión	Camión	Camión
Fórmula de ruedas	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	6x4	6x4	6x4	6x6	6x6
Norma utilizada	DIN	DIN	DIN	DIN	DIN	SAE	SAE	GOST	GOST	GOST
Motor: (G o D)	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Gasolina	Gasolina	Gasolina
Nemáxfab, kW	119,232	107	132	142	132	85	85	132,00	110,3	80,9
nN, rpm	2600	2600	2800	2600	2800	3200	3200	2800	3200	2800
Memáxfab, N.m	569,00	500,00	569,00	568,00	569,00	291	291	560,00	402,00	343,20
nM, rpm	1500	1600	1600	1500	1600	1600	1600	1600	2000	1400
isl	0,1242	0,1242	0,1242	0,1242	0,1242	0,1673	0,1673	0,1344	0,1344	0,1344
islI	0,2299	0,2299	0,2299	0,2299	0,2299	0,2912	0,2912	0,2439	0,2439	0,2439
islII	0,4082	0,4082	0,4082	0,4082	0,4082	0,5371	0,5371	0,4367	0,4367	0,4367
islIV	0,6757	0,6757	0,6757	0,6757	0,6757	0,7710	0,7710	0,6803	0,6803	0,6803
islV	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
islVI						1,2920	1,2920			
islVII										
islVIII										
islIX										
islX										
im1	0,1572	0,1706	0,2049	0,2049	0,1890	0,1707	0,1628	0,1580	0,1363	0,1499
im2		0,1859	0,1890	0,2193	0,1859					
im3		0,1333	0,2193	0,1572	0,1333					
im4			0,1572							
ict2									0,4808	0,4405
ict1									1,0000	0,8621
G, N	138321	127628	128315	127138	147346	73575	83385	119437	114630	85249
Do, plg	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	17,50	17,50	20,00	20,00	18,00
Bo, plg	11,00	9,00	9,00	9,00	10,00	9,00	8,50	9,00	12,00	12,00
B, m	2,21	2,08	2,08	2,08	2,11	2,03	1,97	1,84	1,82	1,76
H, m	2,47	2,82	2,82	2,82	2,82	3,65	3,65	2,40	2,98	2,12

	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Tipo de vehículo	Camión	Camión	Camión	Camión	Camión	Cuña	Cuña	Camión	Camión	Camión
Fórmula de ruedas	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2
Norma utilizada	SAE	DIN	SAE	DIN	DIN	DIN	DIN	SAE	SAE	SAE
Motor: (G o D)	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
Nemáxfab, kW	151	191	156,45	184	152	152	154	152	154	224
nN, rpm	2500	2500	2300	2500	2600	2600	2700	2600	2700	2400
Memáxfab, N.m	598,00	900,00	705,03	950,00	657,00	657,00	680,00	657,00	680,00	980,00
nM, rpm	1500	1450	1400	1450	1600	1600	1650	1600	1600	1450
isl	0,1222	0,1245	0,1131	0,1245	0,1110	0,1110	0,1110	0,1110	0,1110	0,1521
islI	0,1935	0,1976	0,1855	0,1976	0,1898	0,1898	0,1898	0,1898	0,1898	0,2138
islII	0,3000	0,3236	0,2967	0,3236	0,3106	0,3106	0,3106	0,3106	0,3106	0,2875
islIII	0,4482	0,5102	0,4608	0,5102	0,4902	0,4902	0,4902	0,4902	0,4902	0,3821
islIV	0,6988	0,7634	0,6897	0,7634	0,7353	0,7353	0,7353	0,7353	0,7353	0,5291
islV	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,7435
islVI										1,0000
islVII										1,3298
islVIII										
islIX										
islX										
im1	0,1951	0,1789	0,1585	0,1789	0,2049	0,1504	0,1610	0,1504	0,1610	0,1795
im2		0,2439	0,2160	0,2439	0,1504	0,2049	0,2193	0,1610		
im3						0,1316	0,1316	0,1316		
im4						0,1795	0,1795			
ict2										
ict1										
G, N	107910	160555	155734	164808	170000	176580	176580	166770	166770	166770
Do, plg	22,50	22,50	22,50	22,50	20,00	22,50	22,50	20,00	20,00	22,50
Bo, plg	9,00	7,50	11,00	7,50	11,00	8,25	8,25	11,00	11,00	8,25
B, m	1,58	2,11	2,02	2,11	2,21	2,45	2,45	1,97	1,97	2,40
H, m	2,19	2,33	2,62	2,33	2,94	2,94	2,97	2,94	2,96	2,28

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Tipo de vehículo	Camión	Cuña	Cuña	Cuña	Cuña	Cuña	Cuña	Camión	Camión	Cuña
Fórmula de ruedas	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	4x2	6x4	6x4	6x4
Norma utilizada	GOST	DIN	DIN	DIN	DIN	DIN	DIN	GOST	GOST	GOST
Motor: (G o D)	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
Nemáxfab, kW	194,9	250	280	309	309	345	221	154,4	154,4	154,4
nN, rpm	2300	1900	1900	1900	1900	1900	1950	2600	2600	2600
Memáxfab, N.m	882,60	1600,00	1800,00	2000,00	2100,00	2200,00	1400,00	637,40	637,40	637,40
nM, rpm	1500	1200	1200	1200	1150	1250	1200	1400	1400	1400
isl	0,1294	0,0990	0,0990	0,0990	0,0990	0,0990	0,0990	0,1279	0,1279	0,1279
islI	0,1818	0,1408	0,1408	0,1408	0,1408	0,1408	0,1408	0,1567	0,1567	0,1567
islII	0,2538	0,1965	0,1965	0,1965	0,1965	0,1965	0,1965	0,2481	0,2481	0,2481
islIV	0,3571	0,2667	0,2667	0,2667	0,2667	0,2667	0,2667	0,3040	0,3040	0,3040
islV	0,5102	0,3717	0,3717	0,3717	0,3717	0,3717	0,3717	0,4000	0,4000	0,4000
islVI	0,7194	0,5291	0,5291	0,5291	0,5291	0,5291	0,5291	0,4902	0,4902	0,4902
islVII	1,0000	0,7353	0,7353	0,7353	0,7353	0,7353	0,7353	0,6536	0,6536	0,6536
islVIII	1,4085	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,8000	0,8000	0,8000
islIX								1,0000	1,0000	1,0000
islX								1,2346	1,2346	1,2346
im1	0,1285	0,2353	0,2353	0,2353	0,2353	0,2353	0,2353	0,1684	0,1531	0,1842
im2		0,2632	0,2632	0,2632	0,2632	0,2632	0,2632	0,1531	0,1684	0,1531
im3		0,2941	0,2941	0,2941	0,2941	0,2941	0,2941	0,1385	0,1531	0,1385
im4								0,0000	0,1385	0,0000
ict2										
ict1										
G, N	156960	176580	176580	176580	176580	176580	176580	150142	180749	254079
Do, plg	20,00	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	20,00	20,00	20,00
Bo, plg	11,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
B, m	1,95	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	2,03	1,97	1,97
H, m	3,70	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,65	3,65	3,65

	71	72	73	74
Tipo de vehículo	Camión	Camión	Camión	Camión
Fórmula de ruedas	6x4	6x4	6x4	6x4
Norma utilizada	GOST	SAE	SAE	DIN
Motor: (G o D)	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
Nemáxfab, kW	154,4	228	228	191
nN, rpm	2600	2500	2200	2500
Memáxfab, N.m	637,40	1192,00	1192,00	900
nM, rpm	1700	1500	1400	1400
isl	0,1279	0,0532	0,0677	0,0532
islI	0,1567	0,0812	0,0909	0,0812
islII	0,2481	0,1214	0,1224	0,1214
islIV	0,3040	0,1647	0,1667	0,1647
islV	0,4000	0,2217	0,2242	0,2217
islVI	0,4902	0,3012	0,3021	0,3012
islVII	0,6536	0,4032	0,4065	0,4032
islVIII	0,8000	0,5464	0,5464	0,5464
islIX	1,0000	0,7353	0,7463	0,7353
islX	1,2270	1,0000	1,0000	1,0000
im1	0,1464	0,2049	0,1890	0,2049
im2				
im3				
im4				
ict2				
ict1				
G, N	174961	257022	235440	164808
Do, plg	20,00	22,50	20,00	22,5
Bo, plg	9,00	7,50	7,50	7,5
B, m	1,85	2,46	2455,00	2,105
H, m	3,36	2,47	2820,00	2,865

[illegible]

[illegible]

VELOCIDADES MÍNIMAS DE MOVIMIENTO ESTABLE, m/s																		
	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	
VminI	0,556	0,562	0,914	0,598	0,698	0,695	0,690	0,657	0,700	0,687	0,683	0,622	0,748	0,594	0,282	0,350	0,313	
VminII	0,953	0,962	1,287	0,841	0,993	0,989	0,982	0,935	0,997	0,978	0,838	0,762	0,917	0,729	0,431	0,471	0,478	
VminIII	1,562	1,577	1,733	1,176	1,387	1,381	1,372	1,306	1,393	1,366	1,329	1,208	1,454	1,155	0,644	0,634	0,715	
VminIV	2,473	2,496	2,307	1,657	1,886	1,878	1,865	1,776	1,893	1,857	1,629	1,481	1,783	1,416	0,875	0,864	0,971	
VminV	3,724	3,760	3,204	2,373	2,636	2,624	2,606	2,481	2,646	2,594	2,148	1,953	2,351	1,866	1,179	1,163	1,309	
VminVI	5,087	5,136	4,521	3,357	3,765	3,748	3,723	3,543	3,779	3,706	2,636	2,396	2,886	2,290	1,604	1,569	1,780	
VminVII			6,112	4,686	5,258	5,234	5,198	4,946	5,277	5,174	3,525	3,203	3,860	3,061	2,151	2,115	2,388	
VminVIII			8,182	6,641	7,195	7,162	7,112	6,766	7,222	7,080	4,326	3,930	4,738	3,755	2,922	2,850	3,245	
VminIX											5,426	4,928	5,946	4,709	3,944	3,906	4,383	
VminX											6,727	6,107	7,374	5,797	5,389	5,257	5,991	
FRECUENCIAS DE ROTACIÓN MINIMAS PARA MOVIMIENTO ESTABLE, rpm																		Prom
WminI	626,4	590,5	671,2	676,0	579,2	576,6	572,7	545,3	581,3	570,1	656,1	656,0	656,3	655,9	538,1	611,6	597,1	609,20
WminII	627,2	591,2	672,0	676,5	579,7	577,1	573,2	545,8	581,8	570,6	656,5	656,3	656,6	656,2	538,4	611,9	597,4	610,23
WminIII	628,4	592,4	673,0	677,2	580,5	577,9	573,9	546,5	582,6	571,4	657,5	657,2	657,8	657,1	538,8	612,2	597,9	611,97
WminIV	630,3	594,2	674,2	678,3	581,4	578,8	574,9	547,3	583,5	572,3	658,1	657,8	658,5	657,7	539,2	612,7	598,4	678,62
WminV	632,8	596,6	676,2	679,9	582,8	580,2	576,2	548,6	584,9	573,6	659,2	658,8	659,7	658,6	539,7	613,2	599,0	612,51
WminVI	635,6	599,2	679,0	682,0	584,9	582,3	578,3	550,4	587,1	575,7	660,3	659,8	660,8	659,5	540,4	614,1	600,0	608,67
WminVII			682,5	684,9	587,7	585,1	581,0	552,9	589,9	578,4	662,2	661,5	662,9	661,2	541,4	615,1	601,1	615,86
WminVIII			687,0	689,2	591,4	588,7	584,6	556,1	593,6	581,9	663,9	663,0	664,7	662,6	542,7	616,6	602,8	618,58
WminIX											666,2	665,1	667,3	664,7	544,5	618,7	605,0	633,07
WminX											669,0	667,6	670,3	667,0	547,0	621,4	608,1	635,77

Tabla 7. Resultados del cálculos de los coeficientes que valoran la relación motor-sistema de transmisión en la base de datos de 74 vehículos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Sa	72,83	69,26	69,78	72,30	69,86	72,78	70,54	71,56	73,27	69,74	74,03	78,26	74,87	72,91	69,81	69,81	69,78	69,71	76,93	69,63
So	42,72	42,43	42,94	41,97	42,94	53,25	56,79	63,41	53,45	42,94	54,41	53,30	47,14	51,45	42,92	42,92	42,94	42,01	51,08	41,92
Se	77,74	44,17	75,52	22,82	75,50	39,79	52,86	55,18	44,53	68,80	85,92	70,31	38,82	35,96	75,52	75,52	75,52	22,60	54,96	22,70
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Sa	70,72	75,14	76,02	75,43	75,32	71,34	74,00	74,36	72,87	78,10	75,69	69,85	74,59	75,60	75,58	77,68	75,72	76,81	72,88	72,45
So	54,42	47,41	48,53	58,20	58,20	48,18	46,29	60,25	62,84	58,79	53,39	46,32	53,55	53,39	53,38	39,15	47,67	48,81	53,04	52,86
Se	22,70	86,08	43,79	51,19	68,13	68,27	23,28	38,22	61,62	58,47	82,35	91,57	37,29	52,89	91,62	91,64	34,86	48,44	55,46	45,04
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Sa	76,91	76,09	74,53	69,96	74,46	69,71	69,68	77,84	72,31	74,42	75,94	77,65	74,23	81,28	74,98	75,28	76,93	75,26	76,87	77,64
So	48,83	48,55	49,38	46,08	49,39	61,08	61,09	52,41	53,38	52,40	57,04	56,19	49,81	57,27	54,61	54,68	55,87	54,67	55,86	70,26
Se	55,37	51,54	50,54	20,64	50,58	36,45	36,42	93,56	91,73	93,91	71,80	54,20	22,62	73,54	41,20	40,84	53,65	40,87	53,71	40,15
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	Mín	Máx	Prom			
Sa	77,81	86,62	86,83	87,13	88,93	86,72	86,67	77,39	77,35	76,80	77,70	86,82	83,99	82,36	69,26	88,93	75,58			
So	66,44	67,48	67,53	67,61	68,12	67,44	67,93	70,19	70,20	70,18	70,35	65,19	62,87	64,13	39,15	70,35	54,49			
Se	29,88	76,58	77,77	79,59	92,35	75,52	80,87	41,36	41,42	43,66	41,40	85,90	61,21	59,45	20,64	93,91	57,37			