



**Facultad de Ingeniería Mecánica
Colectivo de Mecánica Aplicada**

**Remotorización de la cuña
“Freightliner” con motor chino
“Sinotruk” Modelo WD61547**

Autor: Ibet Alfonso Cárdenas

**Tutores: Dr.C. José Ramón Fuentes Vega
Dr.C. Rafael Goytisoló Espinosa
Ing. Mario Aranzola**

**Junio 2012
“Año 54 de la Revolución”**

Resumen

Dado el alto costo de inversión que representa la compra de un vehículo pesado, la remodelación de los vehículos, con la finalidad de devolverle cualidades cercanas a las iniciales, se va convirtiendo en una práctica cotidiana en las empresas de transporte de menores recursos económicos.

En la mayoría de los casos las remodelaciones se desarrollan sin que medie una valoración técnico-económica adecuada, por carecer de metodologías que permitan desarrollarlas con tales requerimientos.

El presente trabajo de diploma se desarrolla en la Empresa de Almacenes Universales S.A. de Cienfuegos y se origina en la necesidad de remotorizar los camiones Freightliner, con motores Detroit Diesel, y con altos períodos de explotación, con motores Sinotruk en disponibilidad para la mencionada entidad.

El trabajo consiste en aplicar una metodología de remotorización capaz de evaluar con fundamentos científico-técnicos la factibilidad de sustituir el motor, sin deteriorar sus cualidades iniciales significativamente.

El trabajo demuestra la afectación que se produce en las cualidades dinámicas y de consumo en el vehículo remodelado, así como las menores ventajas que se generan, dado la desigualdad en los parámetros de salida de ambos motores.

Se concluye, que la remotorización es factible desde el punto de vista de la resistencia mecánica y que puede realizarse desde el punto de vista de sus cualidades dinámicas y de consumo pero con afectaciones a las mismas.

Índice

Introducción.....	5
Capítulo I Caracterización de la cuña Freightliner, su Motor Detroit Diesel original, el Motor Chino Sinotruk y de los elementos de la transmisión del vehículo.	11
1.1 El automóvil y su estructura.	11
1.2 La cuña Freightliner y sus especificaciones técnicas.....	12
1.3 El Motor Detroit Diesel original de la cuña y sus especificaciones técnicas.....	16
1.4 El Motor Sinotruk y sus especificaciones técnicas.	17
1.5 Los Elementos de la Transmisión.	18
1.5.1 El Embrague.	18
1.5.2 Caja de cambios.....	19
1.6 Puente trasero.	22
1.7 Conclusiones del Capítulo.	22
Capítulo II Metodología para Remotorización de Vehículos.	23
2.1 Introducción.	23
2.2 Descripción de la Metodología para la Remotorización de Vehículos.	24
2.2.1 Cálculo de la característica exterior de velocidad.....	24
2.2.2 Cálculo de la Característica Tractiva del Automóvil.....	28
2.2.3 Análisis del consumo de combustible.....	35
2.2.4 Cálculo de la resistencia sumaria o fuerza tractiva necesaria.	37
2.2.5 Indicadores que se determinan a partir de la ecuación del movimiento.	38
2.3 Conclusiones del Capítulo.	47
Capítulo III Análisis de los Resultados.	48
3.1 Análisis de las Características exteriores de velocidad.....	48
3.2 Análisis de las Características tractivas.	51
3.3 Los indicadores cinemáticos y dinámicos.....	54
3.4 Conclusiones parciales.....	60
Conclusiones Generales.....	62
Recomendaciones.....	64
Referencias Bibliográficas	¡Error! Marcador no definido.

Bibliografía..... 65

Anexo 67

Introducción

La Empresa Almacenes Universales S.A. (AUSA) es una Sociedad Mercantil cubana constituida el 28 de enero de 1994, representada territorialmente a lo largo y ancho de todo el país, con más de 15 años de experiencia en la actividad vinculada a la logística integral de las mercancías, tanto para la importación, como para la exportación y el mercado nacional. Mediante un sistema de Logística Integral con alto nivel de calidad y de seguridad para las mercancías, Almacenes Universales S.A se ha convertido en una Compañía líder en nuestro país, proyectada al comercio internacional y nacional a partir de la ubicación geográfica de Cuba como llave del Golfo, y en apoyo a que el país alcance el papel que le corresponde en el Comercio Internacional en un mundo globalizado. Como Operador Logístico Integral. (Almacenes Universales S.A., 2009)

Almacenes Universales S.A combina sus facilidades de distribución geográfica con una sólida y amplia estructura organizacional, lo cual hace posible la definición de sus servicios como un todo, estableciéndose así las Plataformas Logísticas de distribución en todo el país. La Empresa cuenta con más de 700 vehículos basificados por todo el territorio nacional, garantizando una eficiente, rápida y segura transportación de las mercancías en sus diferentes modalidades, desde el puerto / aeropuerto hasta los almacenes, así como su distribución a cualquier punto del país: Cuñas, Paneles, Paneles de Fumigación, Camiones Secos, Camiones Plataformas, Camiones Refrigerados, Camiones Heladeros. La seriedad en la asistencia técnica, personal de experiencia para su operación y elevado coeficiente de disponibilidad técnica distinguen estos medios, para brindar un servicio eficiente y que cumpla con los requisitos y exigencias de nuestros clientes. Un potencial de capacidades en cuanto a las más variadas exigencias conforman la red de almacenes por todo el país, diferenciándose según las características de sus productos (Almacenes Secos, Refrigerados, Semitechados, a Cielo Abierto y Superficies). Poseedores de almacenes categorizados que cumplen con las normas de almacenamiento y avalan nuestra certificación de calidad. Contamos con más de 300 000 m² de área para almacenes secos y 14 000 m³ de volumen de capacidad refrigerada, los cuales se encuentran en las Plataformas Logísticas distribuidas por todo el país. La Empresa cuenta con más de 18 000 m² de

área en oficinas, distribuidas en Centros de Negocios a lo largo de todo el territorio nacional.

El transporte, es un elemento indispensable para el movimiento de bienes y personas; en específico, el transporte automotor, en este aspecto, se han introducido nuevas tecnologías, que han contribuido al aumento de la eficiencia y eficacia de los procesos de transportación. Se están produciendo, por ejemplo, incrementos importantes en la cantidad de vehículos, en su diversidad, en su capacidad de carga y velocidad de movimiento y en sus capacidades de transportación. Como consecuencia, también han ido evolucionando la infraestructura y los métodos científicos que emplea la explotación técnica, para reducir al máximo los recursos destinados al desarrollo de los procesos de transportación, junto a sus correctos aprovechamientos de la capacidad de trabajo.

El uso racional de los portadores energéticos es una tarea de primordial importancia para cualquier país, en especial para los no productores de petróleo, dados los altos precios que éste y sus derivados poseen en la actualidad y el agotamiento de sus reservas. El transporte es un alto consumidor de derivados del petróleo, llegando a alcanzar en la Unión Europea y en países como Argentina, Brasil y México valores que oscilan entre el 32-40% de la energía final consumida, muy por encima incluso del sector industrial. El transporte automotor en estos países representa alrededor de un 78% de la energía consumida en el sector del transporte. Esto nos puede dar una idea de la importancia de la temática.

El consumo energético en el parque vehicular se incrementa por encima de los valores normales, como consecuencia de:

1. La inadecuada selección del parque vehicular, o sea, no existe una adecuada correspondencia entre las características constructivas del vehículo con las condiciones de explotación a que será sometido.
2. La falta de una cultura técnica que posibilite, tanto la renovación en tiempo del parque, como la ejecución con criterios técnicamente fundamentados de remotorizaciones o adaptaciones de elementos del sistema de transmisión, que posibiliten devolverle en una cuantía adecuada los parámetros iniciales.
3. Deficiencias en los procedimientos de gestión del parque vehicular.
4. El inadecuado estado técnico y de regulación del parque.

5. Calificación no adecuada de los conductores y ausencia de una política de elevación de la misma.
6. Mal estado de las vías.

Dentro de esta gama de factores, que elevan los consumos energéticos, el presente trabajo involucra a los dos primeros, aunque concentra la atención particularmente en el segundo. Es decir, establecer criterios económicamente fundamentados para la oportuna renovación vehicular y adecuar la metodología de selección en función de evaluar remodelaciones constructivas a vehículos en explotación, para devolverle parámetros iniciales y alargar su plazo de servicio, con menores gastos de inversión, deben ser tareas de primer orden.

En el presente trabajo se parte de los criterios más utilizados para determinar el momento de la reposición vehicular y se describe la metodología creada en la UCf una metodología para evaluar la remotorización pudiendo precisarse cuáles son las afectaciones que se producirán en el vehículo.

En Cuba, el transporte es un alto consumidor de derivados del petróleo, muy por encima incluso del sector industrial y dentro del sector del transporte, el automotor representa el principal consumidor de energía. Dada la correspondencia entre consumo de combustible y contaminación ambiental, y la elevada utilización de los derivados del petróleo en sus fuentes energéticas, el transporte constituye uno de los principales contribuyentes a la contaminación del medio ambiente. Hoy día, también la humanidad se enfrenta al agotamiento progresivo de las reservas de petróleo. Dado el deseo de mantener a toda costa niveles de vida que llevan implícito el derroche de los recursos naturales, entre ellos fundamentalmente los energéticos, se han producido no pocos conflictos por el control exclusivo de las reservas petrolíferas. Esto ha contribuido a la elevación continua y desmesurada de los precios del petróleo y sus derivados, que se reflejan en el sector del transporte, en un incremento de los costos de operación, lo que obliga a un uso eficiente de los medios para garantizar, entre otros, la rentabilidad empresarial. Un aspecto vinculado al sector y a la problemática anterior, es la cuestionable intención de los Estados Unidos de América de obtener su independencia energética, a partir de la utilización del etanol y otros biocombustibles en forma de mezclas en el transporte, pese al incremento que genera en los precios de muchos

productos básicos, cuya repercusión negativa se hace sentir con énfasis en las masas desposeídas del planeta, como bien ha señalado en varias intervenciones, muy oportunas, Fidel Castro Ruz.

Los indicadores técnico-económicos están supeditados al buen estado técnico del vehículo, pero su prolongada explotación, aún con un buen servicio técnico, provoca el envejecimiento técnico, hasta el punto en que surge el imperativo de la remodelación, para devolverle cualidades semejantes a las iniciales, ya sea por cambio de motor (remotorización) o de conjuntos del sistema de transmisión, o de ambos a la vez.

Después de casi 50 años de bloqueo recrudescido por el período especial y más de 20 años de explotación de los vehículos del antiguo campo socialista, la situación del transporte en general se torna crítica. Con la recuperación económica la necesidad de ir incorporando nuevos medios de transporte, se hace cada día más necesaria y a diferencia de etapas anteriores, donde las posibilidades de mercado en el sector del transporte se ubicaban con beneficios en el campo socialista, fundamentalmente en la antigua URSS, en la actualidad esas posibilidades se encontraban en el mundo occidental, hasta que más recientemente ha aparecido para Cuba el mercado chino, lo que ha abierto la posibilidad, no de realizar inversiones en un nuevo parque automotor, sino emprender en lo posible la remotorización de aquellos vehículos donde ésta sea posible. Esta práctica se ha emprendido no solo en nuestro país, sino también en otros, con el objetivo de reducir los costos de inversión, acometiendo la remotorización o el cambio de parte de los elementos fundamentales del sistema de transmisión de los vehículos en explotación, para devolverles características que garanticen costos de explotación adecuados y un alargamiento en el período de servicio de los mismos.

Para la valoración de las mejores variantes para la remotorización o el cambio de elementos del sistema de transmisión a utilizar en las modificaciones constructivas, se hace imprescindible la existencia de un grupo de indicadores que posibiliten la evaluación profunda y multilateral para garantizar la eficiencia energética del proceso de transportación. En esta compleja tarea, juega un papel fundamental, la adecuada evaluación de los indicadores dinámicos y de consumo del vehículo.

En el consumo de combustible y la dinámica del vehículo inciden numerosos factores: las características constructivas del vehículo, el régimen de carga y velocidad, el tipo de

vía, su estado, la pendiente, las intersecciones e interferencias al movimiento, las curvas, los parámetros medioambientales, la velocidad del viento e incluso el propio conductor y su experiencia y pericia, entre otros.

Puesto que los vehículos son importantes consumidores de derivados del petróleo, sus gastos en combustible, constituyen uno de los principales componentes de sus costos de operación, por lo que la reducción del mismo es frecuentemente el objetivo fundamental que se persigue en las empresas operadoras. Por ello, se requieren modelos matemáticos precisos para estimar el consumo de combustible de los vehículos en determinadas condiciones de explotación, con una u otra composición, por una u otra ruta de movimiento, capaces de pronosticar los cambios que se producen en el consumo al variar las características técnicas, los números de paradas, el perfil horizontal y vertical de la vía y su estado, entre otros.

En el presente trabajo se aborda específicamente la sustitución del motor Detroit Diesel original de la cuña Freightliner por el motor Diesel Sinotruk, Modelo WD61547, de fabricación china. Se evalúa la sustitución desde el punto de vista de las cualidades dinámicas del vehículo y desde el punto de vista del consumo de combustible, obteniéndose conclusiones que permitieron evaluar la factibilidad de la sustitución.

En el presente trabajo se plantean entonces los siguientes objetivos:

1. Caracterizar la cuña Freightliner, su motor Detroit Diesel original, el motor Diesel Sinotruk, Modelo WD61547 y los elementos de la transmisión del vehículo que serán mantenidos después de remotorizado.
2. Describir la Metodología elaborada en la UCF para el Análisis de la Remotorización de Vehículos.
3. Presentar los Resultados obtenidos desde el punto de vista de las cualidades dinámicas del vehículo al sustituir el motor Detroit Diesel original de la cuña Freightliner por motor Diesel Sinotruk, Modelo WD61547, de fabricación china
4. Evaluar comparativamente el consumo de combustible de ambos vehículos.

Para cumplir los objetivos propuestos se cumplimentaron las siguientes tareas:

- Construcción de las características exteriores de los dos motores.
- Construcción de las características tractivas del vehículo con los dos motores.
- Establecimiento de los indicadores que posibilitan la evaluación comparativa de las cualidades dinámicas del vehículo en ambas situaciones.
- Evaluación comparativa del consumo de combustible.

Capítulo I Caracterización de la cuña Freightliner, su Motor Detroit Diesel original, el Motor Chino Sinotruk y de los elementos de la transmisión del vehículo.

1.1 El automóvil y su estructura.

La palabra automóvil significa que se mueve por sí mismo (Arias Paz, 1997), y se aplica, concretamente, para designar los vehículos que se desplazan sobre terreno mediante la fuerza suministrada por un *motor* de combustión interna o de explosión, llamado así porque, en su interior, combustiona el combustible, ya sea por autoencendido o por encendido provocado. La energía química almacenada en el combustible, se aprovecha de esta forma directamente; convirtiéndose en energía mecánica, sin transformaciones intermedias, como ocurre en las máquinas de vapor, en las que el combustible (carbón o petróleo) se quema en una caldera, y el vapor a presión producido es el que obliga a girar el motor. Cuando el combustible empleado es la gasolina, ésta pasa desde un depósito a un aparato llamado *carburador*, donde se pulveriza y mezcla con aire, y es esta mezcla la que entra en los cilindros del motor, para explotar dentro de ellos por medio de una chispa eléctrica (*encendido*). Las explosiones son extraordinariamente violentas (aunque desde fuera no lo parezca, a causa de la perfección alcanzada en la producción de motores), y calientan tanto que pondrían al rojo los metales del motor, inutilizándolo, si no se enfriase mediante un sistema de *refrigeración*, casi siempre por circulación de agua alrededor de los cilindros. Además, se comprende que el roce de las piezas metálicas del motor, sobre todo estando tan calientes, necesite de un sistema de *engrase*, por circulación de aceite a presión, que lubrica todos los órganos. En vez de gasolina puede utilizarse un combustible más denso (gasoil o Diesel), también derivado del petróleo crudo, y en este caso no se emplean ni el carburador ni el aparato de encendido, sino que entra solamente aire en los cilindros y en momentos oportunos se inyecta directamente a ellos el combustible que se quema sin necesidad de chispa. Estos motores, más pesados que los de gasolina, se emplean mucho en camiones y se llaman Diesel (nombre del inventor) o de combustión interna porque la inflamación del combustible ni

es tan instantánea o total como la explosión de la gasolina, aunque su rapidez es también enorme.

El automóvil está constituido por el *chasis*, que es el armazón o conjunto mecánico del vehículo, y por la *carrocería*, destinada a transportar la carga, que se coloca y sujeta sobre el chasis.

El chasis de cualquier tipo de automóvil está compuesto de los siguientes elementos:

1. Un bastidor, formado por los largueros y travesaño, al que se fijan:
 - a) El motor.
 - b) La transmisión (embrague, caja de velocidades y caja de reenvío si tiene tracción delantera y trasera a la vez, colocados a continuación del motor; árbol de transmisión y puente trasero.
 - c) La dirección.
 - d) Los frenos (por el interior de las ruedas).
2. Los ejes delantero y trasero, y las ruedas.
3. La suspensión, que une las ruedas o ejes al bastidor.

1.2 La cuña Freightliner y sus especificaciones técnicas.

La cuña Freightliner No. 1258, objeto de estudio del presente trabajo, pertenecía a la Sucursal Pinar del Rio, Carretera Balba km 2 ½, Rpto. Hermanos Cruz, Pinar del Rio y actualmente perteneciente a la Sucursal Cienfuegos fue ensamblada por la Firma Andes Export-Ontario-Canadá y está destinada para el traslado de cargas y para el arrastre de remolques por toda clase de carreteras, caminos intransitables y terrenos accidentados. La misma es apta para el servicio en todas las condiciones climáticas, incluyendo las tropicales, en cualquier estación del año con una temperatura del aire entre - 40 y + 55°C. En la Figura. 1.1 se muestra una vista con las dimensiones exteriores de la cuña y en la Tabla 1.1 se dan las dimensiones especificadas.

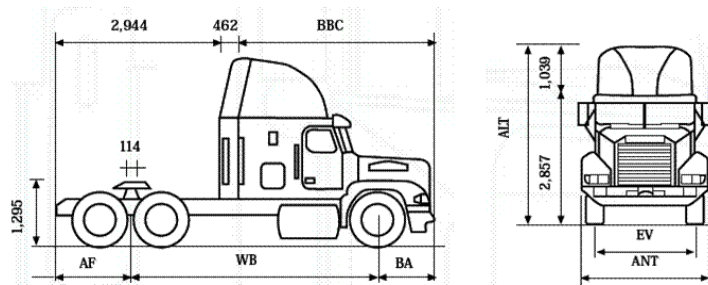


Figura 1.1 Dimensiones exteriores de la cuña.

Tabla 1.1 Dimensiones exteriores de la cuña Freightliner.		
Dimensiones	pulgadas	mm
Distancia entre ejes WB	200	5,08
Distancia Cabina de eje trasero CA	78	1,981
Distancia Cabina de eje trasero CF	134	3,406
Volado delantero BA	45,9	1,166
Volado trasero AF	56,1	1,425
Longitud Total OAL	302,1	7,673
Distancia defensa a pared trasera de cabina BBC	168	4,267
Entrevía delantera EV	78,5	1,994
Entrevía trasera ET	72,2	1,834
Ancho total ANT	95,5	2,426
Altura total ALT	153,4	3896
Claro mínimo del camino	12	305
Radio de giro	337,4	8,57

En la Figura 1.2 se muestra otra vista de la cuña donde se señalan sus distintas partes.

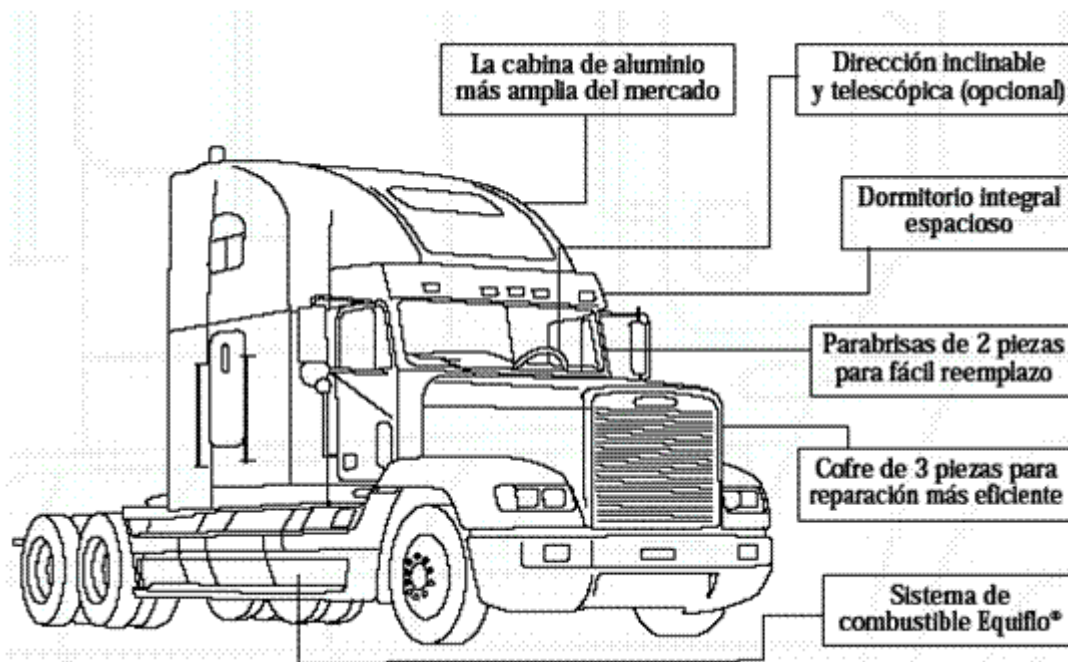


Figura 1.2 Vista general de la cuña donde se señalan sus distintas partes.

Las especificaciones técnicas de la cuña según el catálogo son:

- Modelo: FLD 120
- Peso Bruto Combinado (PBC): 120,000 lb/54,545 kg.

- Cabina: Cabina convencional de aluminio de 120" con camarote integral de 48".
- Motor: Detroit Diesel Serie 60-14.0 L: 425/440 HP @ 1 800 rpm, Cruise Power 1 450 lb-ft @ 1 100 rpm.
- Opcionales: DDC hasta 575 HP, 1,850 lb-ft. ISX hasta 565 HP, 1 850 lb-ft. CAT C15 hasta 550 HP, 1 850 lb-ft.
- Freno de Motor de Compresión: DDC Jake Brake, Cummins Interbrake.
- Embrague: Eaton Fuller 15 1/2" Cerámico amortiguado de dos discos, Easy Pedal.
- Sistema de Enfriamiento: Radiador de flujo horizontal de 0,774 m². (1 200 plg²). Ventilador de embrague automático activado con interruptor de luz indicadora en el tablero. Sistema precargado con anticongelante y refrigerante para uso pesado (30° F). Filtro de Aire: Tipo seco, de entrada frontal, montado en la pared de fuego de la cabina, Donaldson.
- Escape: Silenciador vertical con tubo de escape vertical, individual instalado en el lado derecho.
- Secador de aire: Bendix AD 9
- Transmisión: Eaton Fuller FRO-14210B.
- Opcional: Autoshift.
- Eje Delantero: Meritor FF 961 de 12,000 lb/5,455 kg.
- Opcional: Dana Spicer.
- Eje Trasero: Meritor RT 46 160 de 46,000 lb/20,909 kg.
- Opcional: Dana Spicer.
- Frenos ABS Delanteros: Meritor 15" x 4" Q Plus,
- Frenos ABS Traseros: Meritor 16.5" x 7" Q Plus.
- Suspensión Delantera: Freightliner tipo taper leaf, de 12 000 lb/5 455 kg.
- Suspensión Trasera: Neumática Airliner de 46 000 lb/ 20 909 kg.
- Opcional: Neumática Hendrickson Has de 46,000 lb/ 20 909 kg.
- Dirección: TRW THP 60.
- Distancia entre Ejes (W.B.): 5 075 mm (200").

- Tanque de Combustible: 2 tanques de 140 / 120 gal. (529/454 lts.) derecho e izquierdo.
- Sistema de Combustible: Equiflo, que mantiene igual el nivel de los tanques.
- Llantas Delanteras: Michelin XZA3 11R24.5, 14 capas radiales.
- Opcionales: Goodyear, Bridgestone.
- Llantas Traseras: Michelin XDA3 11R24.5, 14 capas radiales.
- Opcionales: Goodyear, Bridgestone.
- Ruedas Delanteras: Disco, Acero 24.5 x 8.25.
- Ruedas Traseras: Disco, Acero 24.5 x 8.25.
- Cabina Interior: Interiores de vinil tipo "Custom" color azul, viseras interiores para el conductor y pasajero, ventana de la puerta del lado derecho e izquierdo con ala operante; cubierta de puertas color azul; aislante térmico y de ruido frente y bajo la cabina; cenicero y encendedor montados en el tablero. Volante de dirección de 482 mm. (19") de diámetro. Sistema de calefacción con control de temperatura; aire acondicionado, asientos separados, suspensión neumática para el conductor y fijo para el acompañante, con cinturón de seguridad de 3 puntos; tablero de instrumentos con velocímetro, tacómetro, indicador de nivel de combustible, indicador de presión de aire (2), indicadores de temperatura de agua y aceite, voltímetro, indicadores de presión de aceite y pirómetro, etc.
- Cabina Exterior: Cabina dormitorio de 48", espejos "West Coast" de acero de 7"xl6", espejo vista abajo del lado derecho. Cubierta de motor de fibra de vidrio, cubiertas de protección contra salpicaduras y polvo del lado derecho e izquierdo. Sistema de amortiguamiento neumático y nivelación para cabina.
- Pintura de Cabina: Un solo color sólido, blanco Imron Elite. Chasis: Negro Estándar.
- Flechas Cardan: Principales: Meritor 18 N, Ínter ejes-Meritor 17 N.
- Bastidor: Largueros tipo "C" 8.73 x 88.9 x 258.76 mm. (11/32 pulg. x 3.5 x 10-3/16 pulg.). Tensión de fluencia: 110 000 PSI.

1.3 El Motor Detroit Diesel original de la cuña y sus especificaciones técnicas.

En la Figura 1.3 se muestra una foto del Motor Detroit Diesel original.



Figura 1.3 Vista del Motor Detroit Diesel original.

Tabla 1.2 Características Técnicas del Motor original Detroit Diesel.	
Modelo.	PDD 12,7 FZA. 7
Serie.	60
Configuración.	6 cilindros en línea
Desplazamiento de los cilindros.	770 plg ³ (12,7 l)
Relación de compresión.	17 : 1
Diámetro de los cilindros.	5,17 plg. (106 mm)
Carrera.	6,61 plg. (168 mm)
Potencia.	325 – 425 HP
Frecuencia de rotación a potencia máxima.	2100 rpm
Torque máximo	1450 lb-pie
Frecuencia de rotación a torque máximo	1100 rpm
Peso sin combustible.	2 840 lbs. (1 248 kg.)
Sistema Electrónico	DDEC VI
Fabricado en julio de 1993 en:	Australia

1.4 El Motor Sinotruk y sus especificaciones técnicas.

En la Figura 1.4 se muestra una foto del Motor Sinotruk tomada de su catálogo.

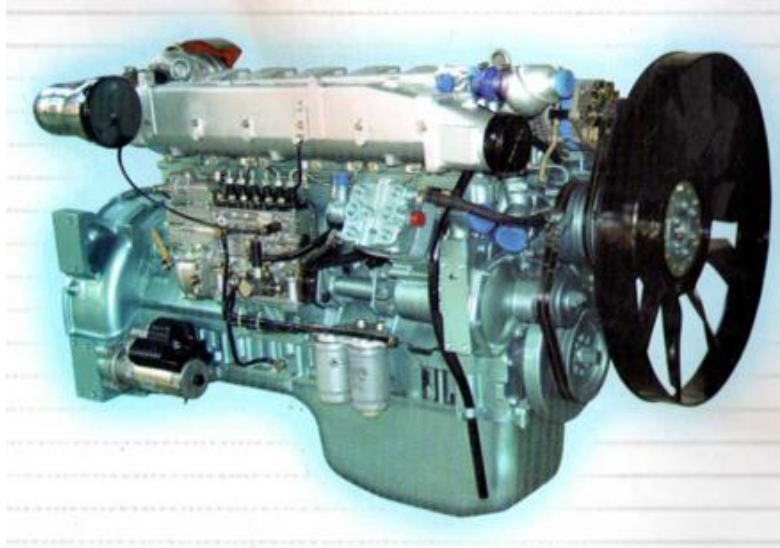


Figura 1.4 Vista del Motor Chino Sinotruk.

En la Figura 1.5 se muestra una foto del Motor Sinotruk específico que será instalado en la cuña Freightliner, tomada en los Talleres de los Almacenes Universales.



Figura 1.5 Foto del Motor Sinotruk que será instalado en la cuña Freightliner.

Tabla 1.3 Características Técnicas del Motor Sinotruk Modelo WD61547.			
1	Potencia nominal kW (ISO 1585)	273	
2	Velocidad de giro nominal r/min	2200	
3	Max. Torque N.m	1460	
4	Velocidad a torque máximo. r/min	1300-1600	
5	Índice de emisiones	EURO	
6	No. of cilindros	6	
7	Configuración.	6 cilindros en línea	
8	Diámetro de los cilindros. mm	126/130	
9	Carrera mm	9.726	
10	Velocidad media del pistón m/s	9.53	
11	Relación de compresión	17:01	
12	Presión de Compresión kPa	> 2000	
13	Modo de admisión	Turbocargado y enfriado	
14	Orden de encendido	1-5-3-6-2-4	
15	Clarencia de las válvulas en estado frio, mm	Admisión 0.3	Escape 0.4
16	Temperatura de apertura del termostato C°	80	
17	Método de arranque	Arranque Eléctrico	
18	Método de Lubricación	Lubricación a presión	
19	Capacidad de la bomba de aceite l	23	
20	Método de enfriamiento	Enfriamiento por agua con circulación forzada	
21	Presión de aceite kPa	350-550	
22	Presión de aceite en vacío kPa	100	
23	Temperatura de escape después de la turbina C°	550	
24	Dirección de rotación del cigüeñal (visto desde el fondo)	En sentido de las manecillas del reloj	
25	Ángulo de Avance.	9 – 11° CA	
26	Dimensiones generales, mm	Longitud	1557
		Ancho	675
		Alto	965

1.5 Los Elementos de la Transmisión.

1.5.1 El Embrague.

El giro del motor llega a las ruedas motrices por intermedio del embrague y del cambio de velocidades, o bien se interrumpe en estos órganos, el embrague colocado en

prolongación del cigüeñal, está intercalado entre el motor y la caja de velocidades, a quienes separa o acopla según se pise o no el pedal que el conductor manda con su pie izquierdo. Normalmente el motor está *embragado* y su rotación llega al cambio de marchas haciendo solidario el eje primario de éste del giro del cigüeñal; cuando el chofer pisa dicho pedal, el motor queda *desembragado* y su giro no se comunica a la transmisión. A la salida del embrague, el giro del motor pasa a la caja de cambios donde unos engranajes lo transmiten hacia las rueda, bien en su totalidad o desmultiplicado, o bien queda cortado en ella, según la posición que ocupe la palanca del cambio que manda los citados engranajes. Para maniobrar éstos es necesario desembragar el motor, y el principal objeto del embrague es atender esta necesidad, es decir, que casi es un órgano auxiliar para el manejo de la caja de velocidades.

Tabla 1.4 Características Técnicas del embrague de la cuña.	
Diámetro de estría y n de estrías	2"-10
Apertura del calibre del volante	8,5"
Número de resortes	10
Torsión del embrague	1650
Tipo de disco	DCF-CO-FT
Revestimiento	Cerámico
Peso de cada uno	150
Easy-Pedal	108391-74MO



Figura 1.6 Embrague de la cuña Freightliner.

1.5.2 Caja de cambios.

La potencia de un motor de explosión aumenta con el número de revoluciones por minuto hasta que se alcanza la *velocidad de régimen*, pues el número de vueltas crece en iguales términos el de explosiones, en toda vez que se produce una explosión por cilindro en cada dos vueltas del cigüeñal. Rebasada esa velocidad de régimen, la potencia del motor vuelve a decrecer: fijándose en los períodos de admisión, por ejemplo, al girar muy de prisa el cigüeñal la duración del llenado de los cilindros es muy pequeña, por lo que la fuerza de la explosión disminuye, y se comprende que llegue un momento en el que no esté compensado el mayor número de explosiones. Por el

mecanismo del cambio de velocidades la rotación del cigüeñal se transmite a las ruedas propulsoras en tal forma que, cuando el coche va despacio porque el motor agota su fuerza en subir trabajosamente una cuesta y peligraría de calarse, se puede alterar la transmisión y hacer que aun yendo despacio el coche el motor vuelva a girar de prisa, dando toda su potencia, con lo que se aleja el temor de que se pare; y el coche podrá subir la cuesta con facilidad para el motor, aunque a menos velocidad de marcha que en llano. El giro del cigüeñal llega desde el embrague a la caja de velocidades por un árbol *P*, llamado *primario*, a continuación del cual otro árbol *S*, que es el *secundario*, recoge el movimiento y lo transmite a las ruedas motrices.

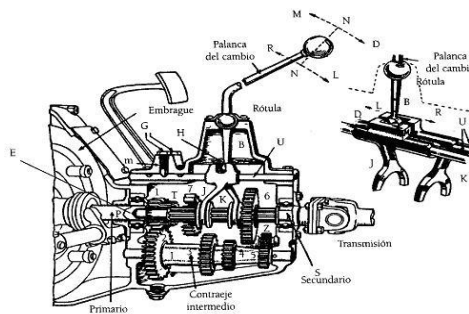


Figura 1.7 Conjunto de una caja del cambio de velocidades.

El eje *P*, a su entrada a la caja de cambio, lleva un piñón 1 en engranaje constante con otro 2, unido al árbol intermedio o contra eje *I* sobre el que van fijos los piñones 3 y 4, con los que respectivamente viene a engranar los 7 y 6 del secundario, que van montados en la forma indicada en la figura, es decir, 6 y 7 giran con el árbol *S*, pero pueden desplazarse a lo largo de él por las estrías de *S*. Por los piñones en toma constante 1 y 2, el giro del primario *P* se transmite permanentemente al contra eje *I*, y de éste puede pasar al secundario *S* si engrana alguno de sus desplazables con el correspondiente piñón del árbol *I*. Primario y secundario pueden también unirse directamente por dientes *T* que lleva el piñón *I* y en los que vienen a engranar los dientes interiores del desplazable 7; entonces los dos árboles giran a igual velocidad, no interviniendo en la transmisión del movimiento el intermedio, que, sin embargo, continúa girando en vacío por la toma constante de 1 y 2. El secundario suele llevar una espiga *E* que va introducida en un alojamiento del extremo del primario, y claro es que a través de este enchufe loco, que sólo sirve para alinear los dos árboles, no hay

transmisión alguna de giro de uno a otro. Otras veces el secundario apoya en el primario por intermedio de un cojinete de bolas o de rodillos, y sobre cojinetes de esa clase descansan siempre aquellos dos árboles, y, a veces, el contra eje, en el cárter de la caja de cambios. Unidos a los desplazables van unos collares abrazados por las horquillas J y K a las que mueven unas barras correderas U (hay otras detrás, como se aprecia en el detalle) provistas de entalladuras H en las que penetra el dedo B, accionado por la palanca de mando, cuya maniobra, por intermedio de las barras y las horquillas, hace correr hacia atrás o hacia delante uno u otro de los desplazables 6 y 7; los gatillos de retenida G, por la fuerza de sus resortes m se aplican contra unas muescas de las correderas, manteniendo al desplazable en la posición.

1.5.2.1 Caja de cambios de la cuña Freightliner.

En la Figura 1.8 se muestra una foto de la caja de velocidad Eaton Fueller modelo FRO-14210B de fabricación estadounidense.



Figura 1.8 Caja Eaton Fueller FRO-14210B.

Tabla 1.5 Relaciones de transmisión de la caja.		
Primera velocidad	1/11,06	0,0904
Segunda velocidad	1/8,19	0,1088
Tercera velocidad	1/6,05	0,1653
Cuarta velocidad	1/4,46	0,2242
Quinta velocidad	1/3,34	0,2994
Sexta velocidad	1/2,48	0,4032
Séptima velocidad	1/1,83	0,5464
Octava velocidad	1/1,36	0,7353
Novena velocidad	1	1
Décima velocidad	1/0,95	1,33

Tabla 1.6 Especificaciones técnicas de la caja.	
Velocidades	10
Torsión máx.	1450Libras-pies,1966 Nm
Tapa de aceite en (litros)	23,5 pintas,11litros
Longitud en (mm)	29,9 pulgadas,759mm
Peso en libras(kg2)	592libras,269kg2
Velocidad de PTO (%del motor)	87
Torsión combinada de PTO (libras-pies)	350

1.6 Puente trasero.

El giro del motor, que puede interrumpirse a voluntad en el embrague, pasa por la caja de cambios y llega al puente trasero en el que tiene que comunicarse a las ruedas colocadas en un eje transversal. Este cambio en ángulo recto se consigue por el engranaje del piñón de ataque (en el extremo del árbol de transmisión) y de la corona montada sobre el eje de las ruedas y que comunica a éstas el movimiento del motor, siempre demultiplicado por ser el piñón de ataque más pequeño que la corona, con arreglo a las condiciones calculadas para el automóvil. La relación de transmisión de la pareja piñón-corona es la misma que la de los números de sus dientes y en el caso de la cuña Freightliner es de 0,17. La reducción del número de vueltas en el engranaje piñón-corona tiene por objeto armonizar la rotación del motor, que es bastante elevada, con la necesaria en las ruedas del vehículo, según el tamaño conveniente para ellas y la velocidad resultante y posible para el vehículo.

1.7 Conclusiones del Capítulo.

1. Como resultado de la búsqueda bibliográfica se logró caracterizar la cuña Freightliner y las particularidades fundamentales de su motor Detroit Diesel original y se establecieron las características técnicas fundamentales del mismo.
2. Se logró de la misma forma encontrar las características fundamentales del Motor Diesel Chino Sinotruk que será empleado en la remotorización de la cuña.
3. Se caracterizaron completamente los elementos de su transmisión que serán mantenidos en el vehículo después de remotorizado.

Capítulo II Metodología para Remotorización de Vehículos.

2.1 Introducción.

Uno de los problemas más graves que enfrenta en la actualidad nuestro país es la situación del transporte automotor, tanto de carga como de pasajeros. La obsolescencia del parque y la escasez de combustible, tanto gasolina como diesel, han provocado que en el transcurso de estos últimos años las actividades de transportación se hayan visto afectadas, con las consecuentes pérdidas para la economía del país. En Cuba existe un parque considerable de vehículos, con más de 20 años de explotación, que por un proceso natural de deterioro, presentan inadecuados indicadores técnico-económicos, entre ellos altos costos de operación por exceso de consumo de combustibles y lubricantes y elevados costos de mantenimiento y reparación.

Con el objetivo de poder enfrentar esta situación, y ante los elevados costos de inversión que representa la compra de vehículos pesados, muchas Empresas e Instituciones, se han visto en la necesidad de remodelar los vehículos, tratando de devolverles cualidades cercanas a las iniciales. La remodelación más común es la remotorización, que consiste en sustituir los motores originales por otros de semejantes características y parámetros de salida.

Las remotorizaciones se han realizado, en la inmensa mayoría de los casos, sin una valoración técnica adecuada acerca de los inconvenientes que puede acarrear la misma, entre otras las afectaciones que pueden producirse en las cualidades dinámicas del vehículo o en la resistencia mecánica de los elementos de la transmisión y todo ello sin una evaluación técnico-económica adecuada. Con el objetivo de transformar el parque vehicular de gasolina a Diesel, o simplemente para remotorizar vehículos con muchos años en explotación, se han adquirido en el extranjero motores de diversas firmas: IVECO, ROMAN, PERKINS, MERCEDES BENZ, HYUNDAI, y los motores chinos YUCHAI y SINOTRUK, haciéndose necesario establecer una metodología para la evaluación de la remotorización, con el objetivo de poder seleccionar cual es el motor más adecuado para un vehículo en particular, que desempeña sus funciones en unas condiciones de explotación determinadas o sencillamente valorar que tan adecuado es el motor seleccionado para las funciones que desempeña el vehículo.

El presente capítulo está destinado a describir en síntesis, la metodología elaborada, que ha sido aplicada y validada en varios trabajos anteriores, como son: Remotorización del camión ZIL 131 con motor chino YUCHAI (Romero, 2008), (Moya, 2010).

2.2 Descripción de la Metodología para la Remotorización de Vehículos.

2.2.1 Cálculo de la característica exterior de velocidad.

La característica exterior de velocidad es una gráfica donde se plotean la potencia efectiva, el momento torsor y en algunas ocasiones el consumo específico de combustible, en función de la frecuencia de rotación del motor. La característica exterior se construye para máximo suministro de combustible y desde el punto de vista experimental se determina aumentando el suministro de combustible al máximo y variando la carga sobre el motor, desde cero hasta la máxima carga que garantiza el trabajo estable del mismo.

A pesar de que desde el punto de vista práctico, la condición de trabajo con máximo suministro de combustible no es usual, pues el motor trabaja la mayor parte del tiempo en características parciales, la importancia de la característica exterior de velocidad radica, en que en ella se muestran los parámetros máximos de salida del motor para una determinada frecuencia de rotación. De tal modo, se emplea para comparar los requerimientos de potencia para vencer las resistencias presentes en una condición determinada del movimiento, con las reales posibilidades del motor, en la frecuencia de rotación que determina la velocidad de movimiento y la marcha conectada. A partir de ello, se puede determinar el grado de carga del motor, que determina, entre otros el consumo de combustible del vehículo. La característica exterior de velocidad es la base para determinar, en conjunto con las características del sistema de transmisión, las cualidades dinámicas del vehículo y otros parámetros que determinan su desempeño.

Como quiera que no siempre es posible, contar con una característica exterior de velocidad determinada experimentalmente, se recurre con frecuencia en la práctica a su determinación teórica.

Para el cálculo de la característica exterior, es necesario establecer el rango de frecuencias de rotación del motor. El mismo se establece entre la frecuencia de rotación que garantiza la velocidad mínima de movimiento estable del vehículo y la frecuencia de

rotación máxima del motor. Existen expresiones empíricas para la determinación de una u otra frecuencia de rotación, tanto en el caso de los motores diesel como de gasolina. Determinado el rango de frecuencias de rotación, este intervalo se divide como mínimo en 10 valores, determinando la potencia en cada punto, mediante la ecuación:

$$N_{ex} = N_{e\text{ máx}} \cdot \left[C_1 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right) + C_2 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right)^2 - C_3 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right)^3 \right] \quad (\text{kW}) \quad (2.1)$$

Donde:

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

$N_{e\text{ máx}}$ y W_N - es la potencia máxima y la frecuencia de rotación a que se alcanza, respectivamente. Ambos, son datos que acompañan la documentación técnica del motor.

C_1 , C_2 , C_3 - son coeficientes empíricos que dependen del tipo de motor. Pueden determinarse por tablas (Ver Tabla 2.1) o por ecuaciones (Ver ecuaciones 2.11-2.14), siendo este último método el más confiable por sus resultados.

Partiendo de la frecuencia de rotación mínima, con el aumento de la frecuencia de rotación el torque y la potencia se incrementan y alcanzan sus valores máximos para frecuencias de rotación W_M y W_N , respectivamente. Para frecuencias de rotación superiores a W_N la potencia efectiva disminuye y se incrementan las cargas dinámicas que actúan sobre las piezas del mecanismo biela-manivela, por eso se trata de que la $W_{\text{máx}}$ no sobrepase la W_N en más de un 10-20 %. Por ello, la $W_{\text{máx}}$ para definir el rango de trabajo del motor, viene dada por las expresiones:

$$\omega_{\text{máx}} = \omega_N \quad \text{en motores diesel}$$

$$\omega_{\text{máx}} = \omega_N \cdot (1.1 - 1.2) \quad \text{en motores de gasolina}$$

La $W_{\text{mín}}$ por su parte, requiere de criterios más complejos para definirla, pero se puede asumir, para el caso de los motores diesel de baja frecuencia de rotación, según:

$$n_{\text{mín}} = n_M - 300 \quad (2.2)$$

Se define el número de valores de frecuencia de rotación (n) para los cuales se calcularán N_{ex} , M_{ex} y g_{ex} , como expresamos anteriormente según:

$$\Delta W = (W_{\text{máx}} - W_{\text{mín}}) / n \quad (2.3)$$

De esta forma, el torque para una frecuencia de rotación W_x cualquiera del cigüeñal del motor se determina por:

$$M_{ex} = \frac{N_{ex} \cdot 10^3}{W_x} = M_{eN} \left[C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right) - C_3 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right)^2 \right] \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (2.4)$$

$$M_{eN} = \frac{N_{emáx} \cdot 10^3}{\omega_N} \quad (2.5)$$

Donde: M_{eN} – es el torque que se obtiene para potencia máxima.

Para determinar el consumo específico de combustible en característica exterior:

$$g_{ex} = g_{eN} \cdot \left[C_4 - C_5 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right) + C_6 \cdot \left(\frac{W_x}{W_N} \right)^2 \right] \quad (\text{g/kW.h}) \quad (2.6)$$

Donde:

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

g_{eN} - consumo específico para potencia máxima. Es generalmente un dato del pasaporte técnico del vehículo.

C_4, C_5, C_6 - coeficientes empíricos que dependen del tipo de motor (Tabla 2.1)

El consumo horario podemos determinarlo por la ecuación:

$$G_t = g_{ex} \cdot N_{ex} / 10^3 \quad (\text{kg/h}) \quad (2.7)$$

Tabla 2.1 Coeficientes de cálculo de la característica exterior.						
Motor	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	C₆
Gasolina	1,00	1,00	1,00	1,20	1,00	0,80
Diesel de 2t.	0,87	1,13	1,00	1,55	1,55	1,00
Diesel de 4t.						
-Inyección Directa	0,50	1,50	1,00	1,55	1,55	1,00
-Pre cámara.	0,70	1,30	1,00	0,35	1,35	1,00
-Cámara de Turbulencia	0,60	1,40	1,00	1,20	1,20	1,00

Para calcular los valores de los coeficientes C_1, C_2 y C_3 por medio de expresiones, se necesita del concepto de elasticidad, que abordaremos a continuación.

El índice de elasticidad de torque se expresa por la relación entre el torque máximo ($M_{máx}$) y el torque a potencia máxima (M_N):

$$e_M = \frac{M_{emáx}}{M_{eN}} \quad (2.8)$$

Sus valores promedios son: e_M

-motores de gasolina.....1.10 - 1.30

-motores diesel.....1.05 - 1.15

El índice de elasticidad de torque es un indicador importante, pues representa el grado de estabilidad de funcionamiento del motor, y por tanto del vehículo, ante las variaciones de carga. Dada la variabilidad de la carga que actúa sobre el vehículo, sus valores son siempre mayores que 1. El diesel presenta menor elasticidad de torque por poseer estos una característica más plana. Los casos de $e_M < 1$, corresponden a motores con característica descendente, inapropiados para máquinas automotrices por su baja estabilidad y tendencia al calado.

El índice de elasticidad de frecuencia de rotación, se designa por e_n y se determina por la relación:

$$e_n = \frac{W_N}{W_M} \quad (2.9)$$

Cuando este indicador alcanza elevados valores, nos muestra que el vehículo garantiza adecuadas cualidades dinámicas con cajas de velocidad de menor número de marchas, o lo que es lo mismo, dos vehículos con igual sistema de transmisión, el que posea mayor coeficiente de elasticidad de frecuencia de rotación, garantiza mejores cualidades dinámicas.

Generalmente e_n oscila entre 1.3 - 2.0.

El índice de elasticidad total del motor se expresa por:

$$E = e_M \cdot e_n \quad (2.10)$$

Los valores promedios de E oscilan entre 1.5 - 2.5. Para fines de tracción, el mejor motor es aquel que posea mejores índices de elasticidad.

Dada la importancia de los coeficientes de elasticidad del motor, deben constituirse en elementos de comparación, a la hora de valorar la factibilidad de sustitución de un motor por otro, o como elementos para la fundamentación del comportamiento de un vehículo en unas condiciones de explotación determinadas.

Como se expresó, a partir del concepto de elasticidad, se determinan los coeficientes C_1 , C_2 y C_3 utilizados para el cálculo teórico de la característica exterior de velocidad (ecuaciones 2.1 y 2.4).

Rigoberto Aragón (1990), en su Tesis de Doctorado, propone las siguientes ecuaciones:

- Para los motores de gasolina:

$$C_1 = \frac{E \cdot e_n - 3e_n + 2}{\epsilon_n - 1}; C_2 = \frac{3e_n^2 - 2e_n \cdot E - 1}{\epsilon_n - 1}; C_3 = \frac{2e_n^2 - E \cdot e_n - e_n}{\epsilon_n - 1} \quad (2.11)$$

- Para los motores diesel:

$$C_1 = \frac{E \cdot e_n - 2E + 1}{\epsilon_n - 1}; C_2 = \frac{2E - 2e_n}{\epsilon_n - 1}; C_3 = \frac{E \cdot e_n - e_n^2}{\epsilon_n - 1} \quad (2.12)$$

(A. S. Litvinov, 1985) propone por su parte las siguientes ecuaciones:

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

$$C_1 = 1 - \frac{A_{Me}}{100} \cdot \frac{e_n - e_n}{\epsilon_n - 1}; C_2 = 2 \cdot \frac{A_{Me}}{100} \cdot \frac{e_n}{\epsilon_n - 1}; C_3 = \frac{A_{Me}}{100} \cdot \left(\frac{e_n}{e_n - 1} \right)^2 \quad (2.13)$$

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

$$C_1 = 2 - \frac{25}{A_{Me}}; \quad C_2 = \frac{50}{A_{Me}} - 1; \quad C_3 = \frac{25}{A_{Me}} \quad (2.14)$$

$$A_{Me} = \frac{(M_{emax} - M_{eN}) \cdot 100}{M_{eN}} = \left(\frac{M_{emax}}{M_{eN}} - 1 \right) \cdot 100 = (\epsilon_M - 1) \cdot 100$$

Donde: A_{Me} es el denominado Coeficiente de Adaptabilidad del Motor.

2.2.2 Cálculo de la Característica Tractiva del Automóvil.

La característica tractiva del automóvil se calcula con el fin de mostrar sus cualidades de movimiento y no es más que la representación gráfica de la ecuación general del movimiento del automóvil. Debido a esto, ésta característica comprende las curvas fuerza tractiva o factor dinámico contra velocidad.

La fuerza tractiva se calcula en todo el rango de frecuencias de rotación, en cada una de sus marchas, considerando el motor trabajando en su característica exterior de velocidad (Pérez Gálvez, 2008), (Romero, 2009), (Szczepaniak, 1981) mediante la ecuación:

$$P_t = \frac{M_{ex} \cdot \eta_o}{r_d \cdot i_{ci}} = \frac{M_{ex} \cdot \eta_o}{r_d \cdot i_{si} \cdot i_m \cdot i_{cti}} \quad (2.15)$$

En cuanto a la velocidad de movimiento, se puede expresar lo siguiente. Durante el movimiento del vehículo, se produce normalmente un cierto patinaje, aún cuando éste

transite por vías en buen estado. Generalmente la literatura considera que el coeficiente de patinaje oscila entre 0.98-1, y como tal se asume. Para cálculos prácticos puede asumirse un valor dentro de este rango. Muchos investigadores suponen en sus cálculos prácticos que no se manifiesta resbalamiento entre las ruedas motrices y el pavimento, o sea, se considera el coeficiente 1. En tal caso, el rango de velocidades de avance del vehículo para cada marcha se determina como:

$$V = w_x \cdot r_d \cdot i_{ci} = w_x \cdot r_d \cdot i_{si} \cdot i_m \cdot i_{cti} \quad (\text{m/s}) \quad (2.16)$$

Donde:

i_{si} - relación de transmisión de la caja de velocidades para la marcha i .

i_m - relación de transmisión del puente motriz.

i_{ci} - relación de transmisión total para la marcha i .

r_d - radio dinámico de la rueda (m).

i_{cti} - relación de transmisión de la caja de transferencia para la marcha i .

El radio dinámico no es igual al radio geométrico de la rueda, pues debido a la velocidad y al peso del vehículo, esta sufre deformaciones, por eso al calcularlo se utiliza la siguiente ecuación:

$$r_d = \left[\frac{D_0}{2} + b \cdot \left(1 - \lambda \right) \right] \cdot 0.0254 \quad (\text{m}) \quad (2.17)$$

Donde:

D_0 - diámetro de la llanta en pulgadas.

b - altura del perfil del neumático en pulgadas.

λ - coeficiente de deformación radial del neumático.

Los valores de b y D_0 pueden encontrarse en las especificaciones técnicas de los vehículos. El coeficiente λ según recomendaciones dadas para camiones y ómnibus (Rivero, 1981) se encuentra en el rango de $0.09 \div 0.11$.

La eficiencia de la transmisión depende de las características del sistema, de la marcha conectada, del estado técnico del sistema, de la velocidad de movimiento y de la carga, entre otros.

La eficiencia del sistema de transmisión, según la expresión recomendada por (Pérez Gálvez, 2008), que considera el efecto de la velocidad, la carga, la ubicación relativa del puente motriz y la marcha conectada, se determina como:

$$\eta_o = \chi - \frac{\left(\frac{1}{2} + 0.09 \cdot v \right) GT \cdot r_d \cdot i_{ci} \cdot 10^{-3}}{M_{ex}} \quad (2.18)$$

Donde:

$$\chi = 0.98^k \cdot 0.97^l \cdot 0.995^m \cdot 0.997^n \quad (2.19)$$

k, l, m, n –coeficientes que se corresponden con el 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. Para facilitar la determinación de los coeficientes se utiliza la tabla 2.2.

V – Velocidad del vehículo en la marcha conectada.

GT – Peso total del vehículo.

r_d – Radio dinámico.

i_{ci} - relación de transmisión total para la marcha i.

M_{ex} - torque para una frecuencia de rotación W_x del cigüeñal del motor.

b).-al puente trasero

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

Tabla 2.2 Valores de las constantes l, m y n para la determinación de la eficiencia.																		
Ubicación del motor		Ubicación del puente motriz			Fórmula de ruedas						Coeficientes							
					4x2	4x4		6x4		6x6		k		l	m	n		
Delantero	Trasero	Delantero	Interm	Trasero			Con	Des	Con	Des	Con	Des	MD			RM	MD	RM
ML				x	x								0	2	1	1	14	15
ML		x			x								0	2	1	1 ²	120	13
MT		x			x								-	3	0	1 ²	-	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 ²			0 ¹ y 2 ²	2 ¹ y 4 ²	2	3	25 ¹ -28 ²	26 ¹ -29 ²
									x ²			0 ¹ y 2 ²	2 ¹ y 4 ²	3	4	37	38	
ML		x	x	x							x ²		0 ¹ y 2 ²	2 ¹ y 4 ²	2	2	25 ¹ -28 ²	26 ¹ -29 ²
									x ²			0 ¹ y 2 ²	2 ¹ y 4 ²	3	3	37	38	

Nomenclatura:

Con – significa conectados todos los puentes motrices

Des – significa desconectado el puente motriz delantero

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: a).- al puente intermedio;

En el caso de la característica ideal, la fuente energética es ideal, es decir, entrega potencia máxima constante en todo el rango de frecuencias de rotación. Al ser ideal la fuente, el vehículo no necesita de una caja de velocidad, pero sí transmitir la potencia del motor a los semiejes, por lo tanto, el sistema de transmisión debe constar al menos con una transmisión cardánica y un par cónico sin reducción. De tal forma $i_c = 1$, $k = 0$, y l , m y n toman el valor de acuerdo a la fórmula del vehículo. Por tanto, la ecuación 2.17, toma la forma:

$$\eta_o = \chi - \frac{0.09 \cdot v \cdot G \cdot 10^{-6}}{N_{em\acute{a}x}} \quad (2.20)$$

Donde:

$$\chi = 0.97^l \cdot 0.995^m \cdot 0.997^n \quad (2.21)$$

La Característica Tractiva Ideal del motor, debido a las exigencias tractivas es determinada por la condición de entrega de una potencia máxima constante en las ruedas del automóvil. En un plano M - n , la curva que cumple esta condición es la hipérbola de ecuación $N_{m\acute{a}x} = M \cdot n = cte$. En un plano P_t - V , en el cual trazamos la característica del automóvil, que tuviera un motor ideal, sería también una hipérbola, ya que M y P_t dependen linealmente, así como n y V .

Si llamamos P_μ a la fuerza tractiva ideal se debe cumplir que:

$$N_{max} = \frac{P_\mu \cdot V}{\eta_o \cdot 10^3} \quad (kW) \quad (2.22)$$

De donde:

$$P_\mu = \frac{N_{max} \cdot \eta_o \cdot 10^3}{V} \quad (N) \quad (2.23)$$

Los valores obtenidos para la fuerza tractiva ideal se muestran en tablas, así como las curvas trazadas en las figuras correspondientes.

Trazada la característica tractiva y la característica ideal, es posible entonces valorar la relación motor-sistema de transmisión a través de los siguientes indicadores, propuestos por (Millo V, 2003) y modificados después por (Pérez Gálvez, 2008).

Hay tres indicadores básicos, que definen la calidad del conjunto motor-sistema de transmisión: Las áreas de ausencia de potencia, el solape entre marchas y la selectividad.

En la Figura 2.1 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, la cual es tangencial a cada una de las características reales en los puntos A, B, C, y D, que representan la fuerza tractiva que se obtiene en cada marcha, cuando el motor trabaja en potencia máxima.

Las áreas de ausencia de potencia, son aquellas áreas que no logra cubrir la característica real respecto a la ideal, en el rango de velocidades de trabajo, es decir, entre la velocidad mínima de movimiento estable en 1ra marcha y la velocidad máxima de movimiento en marcha superior (áreas d, e, f y g – Figura 2.1). Dependen del número de marchas, de la relación de transmisión total en cada marcha, de la eficiencia de la transmisión y de la elasticidad del motor. Mientras menores sean sus valores, mejores van a ser las cualidades dinámicas del vehículo. El solape entre marchas, está determinado por el rango de velocidades que se cubre por dos marchas contiguas (áreas a, b y c – Figura 2.1). Mientras mayor sea el solape, mejor es la suavidad en el cambio de marcha y su inexistencia imposibilita realizarla. Depende fundamentalmente del rango de frecuencias de rotación del motor y de la relación de transmisión total en cada marcha. No son frecuentes las definiciones de la selectividad en la literatura, por lo que se propone definirla 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 importancia desde el punto de vista dinámico y de consumo. Depende del número de marchas, de la relación de transmisión total en cada marcha, de la eficiencia de la transmisión y de la elasticidad del motor.

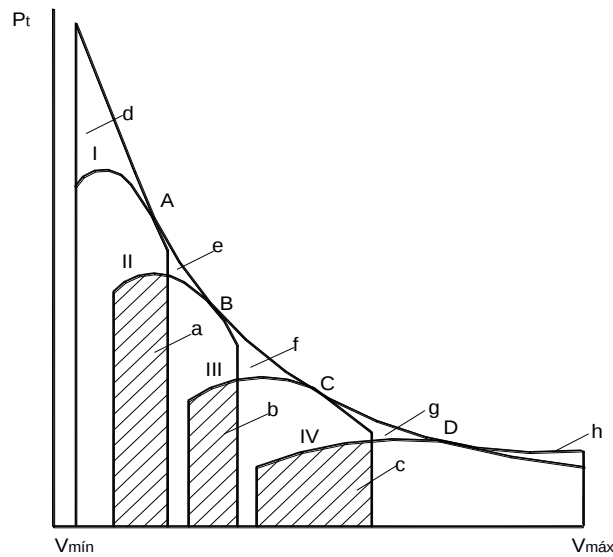


Figura 2.1 Característica tractiva e ideal de un vehículo de 4 marchas.

Explicamos el concepto, a partir de las características tractivas de dos vehículos iguales, pero con cajas de velocidad diferentes de 3 y 4 marchas, que poseen relaciones de transmisión totales iguales en 1ra marcha y marcha superior. La característica se traza en coordenadas D vs v , para poder representar la carga a través del coeficiente de resistencia al camino (ψ). Para condiciones viales representadas por ψ_1 y ψ_2 , el vehículo (a) puede transitar en marchas superiores al vehículo (b), para iguales condiciones viales, teniendo además la posibilidad de utilizar mejores coeficientes de aprovechamiento de potencia y velocidades de movimiento superiores. Esto indudablemente repercute favorablemente sobre el consumo de combustible y el rendimiento de la máquina automotriz.

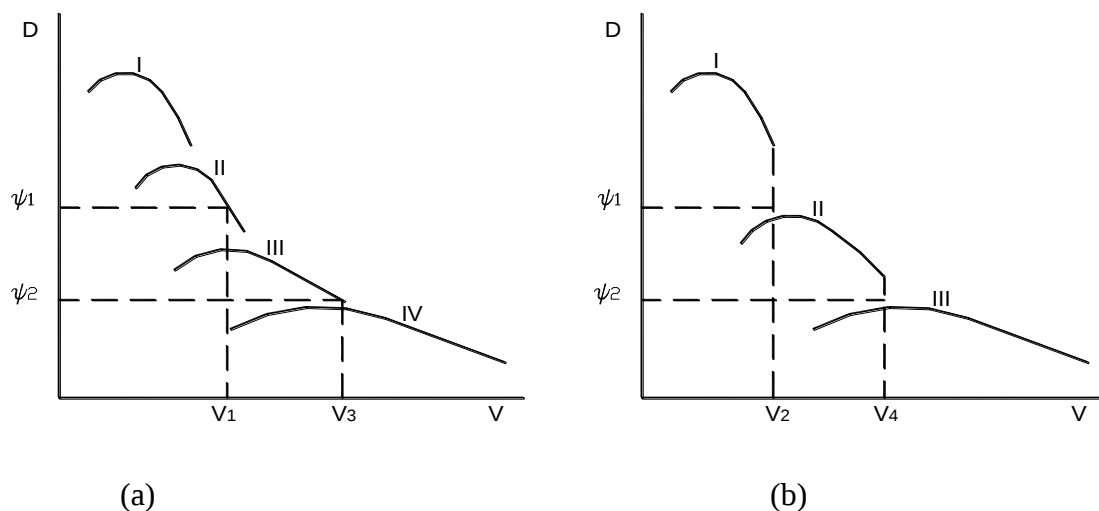


Figura 2.2 La representación gráfica del concepto de selectividad de marchas.

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 (Millo V, 2003), que se realiza una propuesta de indicadores para evaluarlos.

En el caso de las áreas de ausencia de potencia se propone como indicador, el **coeficiente de aprovechamiento del área ideal** (S_a):

$$S_a = \left(1 - A_{ap} / A_{ideal} \right) \cdot 100 \quad (2.24)$$

Donde: A_{ap} – es el área que queda sin aprovechar entre la característica ideal y las reales

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

$$A_{ideal} = \int_{V_{minI}}^{V_{maxm}} P_{ideal} \cdot dv. \quad (2.25)$$

$$A_{ap} = \int_{V_{minI}}^{V_{maxm}} P_{ideal} \cdot dv - \int_{V_{minI}}^{V_{maxI}} P_{tI} \cdot dv - \int_{V_{maxI}}^{V_{maxII}} P_{tII} \cdot dv - \int_{V_{maxII}}^{V_{maxIII}} P_{tIII} \cdot dv - \dots - \int_{V_{maxi-1}}^{V_{maxi}} P_{ti} \cdot dv \quad (2.26)$$

Donde: P_{ti} , P_{tI} , P_{tII} ...- son las fuerzas tractivas en las marchas i , 1ra, 2da,...

Para el solape entre marchas se propone como indicador el **coeficiente de recubrimiento** (S_o), que no es más que la relación del valor total del rango de velocidades que se solapan en cada marcha ($\sum \Delta v$), entre la suma del rango de variación de las velocidades para ese vehículo ($\sum \Delta v_T$):

$$S_o = \sum \Delta v / \sum \Delta v_T = \sum_{i=2}^m (v_{maxi-1} - v_{mini}) / \sum_{i=1}^m (v_{maxi} - v_{mini}) \quad (2.27)$$

Definida la selectividad, 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, se define el **coeficiente de selectividad**, como aquel que valora el aprovechamiento de las posibilidades tractivas del vehículo en el rango de variación de la fuerza tractiva.

$$S_e = \frac{\left(P_{tmaxI} - P_{tvmaxms} \right) \sum_{i=2}^m \left(P_{tvmaxi-1} - P_{txmaxi} \right)}{P_{tmaxI} - P_{tvmaxms}} \cdot 100 \quad (2.28)$$

Donde: $P_{tvm\acute{a}x\ ms}$, $P_{tvm\acute{a}x\ i}$ – es la fuerza tractiva a la velocidad máxima en marcha superior y en una marcha i cualquiera

$P_{tm\acute{a}xi}$, $P_{tm\acute{a}x\ i}$ – es la fuerza tractiva máxima en 1ra marcha y en una marcha cualquiera i

2.2.3 Análisis del consumo de combustible.

El consumo de combustible del motor del automóvil caracteriza su estado técnico y económico en su explotación. Para determinar el consumo de combustible del motor del automóvil se utilizan varios indicadores (Fuentes Vega, 2008). Uno de ellos es el consumo recorrido, que no es más que la cantidad de combustible (Q) que consume un vehículo al recorrer 100 km con movimiento uniforme y con fuerzas de resistencia constantes. Este puede determinarse mediante la ecuación:

$$Q = \frac{g_e \cdot N_{nec}}{36 \cdot \rho \cdot V} \quad (2.29)$$

Donde:

Q - consumo recorrido del vehículo a una velocidad determinada. (l/100 km)

g_e - consumo específico de combustible (g/kW h)

N_{nec} - potencia necesaria del motor (kW)

ρ - densidad del combustible (kg/l)

V - velocidad del vehículo.

Según información del Departamento de Explotación Industrial de la Universidad de Cienfuegos en nuestro país la densidad del Diesel se encuentra entre 0.815 g/cm^3 y 0.865 g/cm^3 .

La potencia necesaria puede determinarse como:

$$N_{nec} = \frac{P_{t.nec} \cdot V}{10^3 \cdot \eta_o} \quad (2.30)$$

Donde:

$P_{t.nec}$ - fuerza tractiva necesaria.

$$P_{t.nec} = P_c + P_a$$

P_c – resistencia al camino (N).

P_a – resistencia del aire (N).

El consumo específico de combustible depende fundamentalmente de las condiciones de carga y de la frecuencia de rotación del motor. La carga condicionada por las condiciones viales, el aprovechamiento de la capacidad de carga nominal del vehículo, de su estado técnico y de su velocidad de movimiento. La frecuencia de rotación del motor, condicionada por la velocidad de movimiento y la marcha conectada.

El uso de la curva $g_e(n)$ de la característica exterior de velocidad para calcular el valor de g_e no es posible, debido a que la potencia del motor no tiene que ser alcanzada con máximo suministro de combustible. Para determinar g_e hay que conocer la característica universal del motor, pero no siempre se conoce la misma. En este caso g_e para cargas parciales puede ser determinado en base a la siguiente ecuación empírica:

$$g_e = g_{eN} k_A k_n$$

g_{eN} – consumo específico de combustible a potencia máxima (g/kW h).

k_A – coeficiente que tiene en cuenta la variación de g_e en función del grado de aprovechamiento de la potencia del motor (Szczepanik, 1981).

k_n – coeficiente que considera las variaciones de g_e con la velocidad del motor (Szczepanik, 1981).

Estos coeficientes se determinan a partir de gráficos experimentales que aparecen en la literatura consultada (Szczepanik, 1981).

k_n es función de la relación n/n_N y el coeficiente k_A es función de un índice A que se determina como:

$$A = \frac{N_{nec}}{N_{ex}} \quad (2.31)$$

N_{ex} – potencia del motor en la característica exterior que corresponde con la velocidad del vehículo analizada.

Por lo tanto, para utilizar estas funciones es necesario conocer primeramente el valor de las rpm para las cuales corresponde la velocidad del vehículo (ver cálculo de la velocidad lineal del vehículo).

Para calcular A es necesario conocer la característica exterior del motor.

2.2.4 Cálculo de la resistencia sumaria o fuerza tractiva necesaria.

La resistencia sumaria (P_{trec}) se determina, como su nombre lo indica, por la suma de las resistencias que actúan sobre el vehículo: La resistencia al camino (P_c), la resistencia al aire (P_a), la fuerza de inercia (P_i) y la resistencia de tiro o al gancho (P_{gan})

$$P_{trec} = P_c + P_a + P_i + P_{gan}$$

La resistencia al camino se determina mediante la ecuación:

$$P_c = G \cdot (f \cos \alpha + \sin \alpha) \quad (N) \quad (2.32)$$

Donde:

G - peso del vehículo con carga.

f - coeficiente de resistencia al rodamiento.

α - ángulo de inclinación del camino ($^\circ$)

Las recomendaciones que se dan en este aspecto son, (Rivero, 1971), (Szczepanik, 1981).

Tabla 2.3 Valores de f para diferentes tipos de caminos.	
Tipo de camino :	f
Carretera en buen estado	0,012-0,022
Carretera en estado regular	0,016-0,020
Terraplén en irregulares condiciones	0,08-0,10

La resistencia del aire se determina por la ecuación:

$$P_a = k F V^2 \quad (2.33)$$

Donde:

k- coeficiente que toma en cuenta la forma aerodinámica del vehículo (Szczepanik, 1981).

V- velocidad lineal del vehículo (m/s).

F- área frontal del vehículo proyectada (m^2).

Para vehículos pesados el área frontal proyectada se determina como:

$$F = m B H \quad (2.34)$$

Donde:

m - coeficiente de llenado del área, depende de la forma que tenga la parte frontal del vehículo (Szczepanik, 1981), m casi siempre toma el valor de $0.9 \div 1$

B - vía del vehículo (m)

H - altura total del vehículo (m)

Existen recomendaciones para obtener el valor de K y F tales como:

Tabla 2.4 Valores de K y F para diferentes tipos de vehículos.			
Tipo de vehículo	modelo	K, N.s²/m⁴	F, m²
Automóvil ligero	normal	0.20-0.35	1.6-2.8
	convertible	0.40-0.50	1.5-2.5
	de carrera	0.13-0.20	1.0-1.3
Ómnibus	con capot	0.45-0.55	4.5-6.5
	sin capot	0.35-0.45	-
Camiones	cama abierta	0.50-0.70	3.0-5.0
	tipo furgón	0.50-0.60	-

La fuerza de inercia, surge cuando el vehículo se mueve en movimientos de impulso o deceleración. Se determina por la siguiente expresión:

$$P_i = \frac{G}{g} \cdot \delta \cdot \frac{dV}{dt}$$

Donde:

δ – es el coeficiente de las masas reducidas, que se determina aproximadamente por la

expresión: $\delta = 1,04 + \frac{A}{i_{si}^2}$

dV/dt – es la aceleración del vehículo, en m/s²

Por último, la fuerza en el gancho se determina por la siguiente expresión:

$$P_{gan} = P_{cr} + P_{ir}$$

Donde:

P_{cr} – es la resistencia al camino del remolque: $P_c = G_r \cdot (f \cos \alpha + \sin \alpha)$

P_{ir} – es la fuerza de inercia del remolque: $P_{ir} = \frac{G_r}{g} \cdot \delta_r \cdot \frac{dV}{dt}$

G_r – peso del remolque

δ_r – coeficiente de las masas reducidas del remolque: $\delta_r = 1 + \frac{1}{r_{dr}^2} \cdot \frac{g}{G_r} \cdot \sum_n^1 I_{kr}$

r_{dr} – radio dinámico de las ruedas del remolque

I_{kr} – momento de inercia de la rueda del remolque

2.2.5 Indicadores que se determinan a partir de la ecuación del movimiento.

Los siguientes indicadores se determinan para valorar las cualidades dinámicas del vehículo.

Dado lo complejo de los vehículos, dada la diversidad de variantes constructivas y la heterogeneidad de las condiciones de explotación, es muy útil contar con un grupo de indicadores que contribuyan a realizar una valoración de sus cualidades dinámicas partiendo de diferentes criterios.

a) Determinación de la Pendiente Máxima ($\alpha_{m\acute{a}x}$) que puede ascender el tevehículo, partiendo del reposo:

En el caso de un vehículo en una pendiente ascendente, la ecuación de balance de fuerzas toma la forma: $P_t - P_c - P_a - P_i - P_{gan} = 0$

Para la determinación de la pendiente máxima que puede vencer una máquina automotriz, partiendo del reposo, hay que tener en cuenta que:

- Si queremos determinar la $\alpha_{m\acute{a}x}$ que es capaz de vencer el vehículo, éste no debe traccionar remolques, por lo cual: $P_{gan} = 0$.
- La máquina automotriz debe estar conectada en primera marcha, que es donde se entregan las mayores fuerzas tractivas, y para lograr la $P_{tm\acute{a}x}$ el motor debe entregar el momento torsor máximo ($M_{em\acute{a}x}$).
- Entregando $M_{em\acute{a}x}$ y en primera marcha, la velocidad de movimiento es pequeña, por lo que: $P_a \approx 0$.
- La pendiente máxima se alcanza en las mejores condiciones viales, es decir, con los menores valores del coeficiente de resistencia al rodamiento.
- Por último, toda la potencia disponible debe ser empleada en vencer la pendiente, por lo que el vehículo deberá ascender con velocidad constante. Esto es necesario ya que: a).- para variar la velocidad se necesita una cantidad de energía que posibilite variar la cantidad de movimiento, la cual no podría emplearse para vencer la pendiente; b).- si la velocidad es variable, un instante después de iniciar el ascenso, no se contaría con el torque máximo, pues en primera marcha solo hay un valor de velocidad que garantiza la aplicación del torque máximo: $V = W_M \cdot r_d \cdot i_{cl}$

De tal forma: $dV/dt = 0$; $P_i = 0$; $P_a = 0$; $P_{gan} = 0$; $D = P_{tm\acute{a}x} / G$.

La ecuación de balance de fuerzas se reduce a:

$$D - f_{m\acute{a}x} \cdot \cos \alpha_{m\acute{a}x} + \sin \alpha_{m\acute{a}x} \geq 0; \text{ por tanto: } D = f_{m\acute{a}x} \cdot \cos \alpha_{m\acute{a}x} + \sin \alpha_{m\acute{a}x} \quad (2.30)$$

Conociendo D y $f_{\min}$, podemos determinar $\alpha_{\max}$ por medio de métodos numéricos o con ayuda de algún software de cálculo. En cálculos prácticos se puede asumir con cierta aproximación que:

$$\sin \alpha_{\max} \approx D - f_{\min} \quad (2.35)$$

El valor de $\alpha_{\max}$ así obtenido, en caso que se requiera mayor exactitud, puede ser el punto de partida para realizar un tanteo, buscando el valor de α que satisfaga la ecuación 2.35, para lo cual puede auxiliarse del Excel.

$\alpha_{\max}$ será mayor, mientras mayor D y menor f , o sea, mientras mayor sea la fuerza tractiva aplicada, mientras menor sea el peso de la máquina y mejores las condiciones viales. El valor de $\alpha_{\max}$ que puede vencer el vehículo puede ser mayor si se aprovecha la inercia del movimiento del mismo.

b) Determinar la capacidad de aceleración del vehículo en diferentes situaciones.

1) Determinar la capacidad máxima de aceleración $\left(\frac{dv}{dt}\right)_{\max}$:

Ya que la aceleración es un parámetro instantáneo, es más adecuado hablar de capacidad de aceleración, pues de esta forma la magnitud se relaciona más directamente con potencialidades del vehículo. Para lograr la mayor capacidad de aceleración en el vehículo, son necesarias las siguientes condiciones:

- El vehículo debe transitar en primera marcha con el motor entregando torque máximo (en vehículos muy pesados, puede darse el caso en que la máxima capacidad de aceleración se alcance en segunda marcha).
- Si el vehículo transita en primera marcha y el motor entrega torque máximo, el mismo gira a una frecuencia angular W_M y la velocidad del vehículo, a la cual se alcanza esta capacidad máxima de aceleración es: $V_1 = W_M \cdot r_d \cdot i_{cl}$, por tanto, la velocidad es pequeña y la resistencia al aire puede despreciarse ($P_a \approx 0$).
- Las condiciones viales deben ser las mejores, es decir, pavimento rígido en buen estado y con pendiente cero ($P_\alpha = 0$ y $P_{r \min}$).
- El vehículo debe transitar sin remolque, para emplear toda su energía en vencer las pérdidas mecánicas y la resistencia al rodamiento e impulsar el vehículo.

Analicemos una primera forma de determinar la capacidad máxima de aceleración. Se determina la resistencia sumaria ($P_{t nec}$) cuando el vehículo circula a velocidad $V_1 = \text{cte}$.

En tal caso: $P_{t nec} = P_r = G \cdot f$

Se calcula entonces el $M_{e nec}$ como: $M_{e nec1} = \frac{P_{t nec1} \cdot r_d \cdot i_{cl}}{\eta_o}$

Determinado este valor, se lleva a la característica exterior (Figura 2.3), y se determina la reserva de torque (ΔM_1), entrando a la misma con la frecuencia de rotación W_M .

$$\Delta M_1 = M_{e máx} - M_{e nec1}$$

Con este valor de ΔM_1 se determina que reserva de fuerza tractiva me proporciona (ΔP_{t1}), y esta reserva de fuerza tractiva se utiliza para impulsar el vehículo.

$$\Delta P_{t1} = \frac{\Delta M_1 \cdot \eta_o}{r_d \cdot i_{cl}}; \quad \text{pero } \Delta P_{t1} = P_i = \frac{G}{g} \cdot \delta_I \cdot \frac{dV}{dt}; \quad \therefore \left(\frac{dV}{dt} \right)_{\max} = \frac{\Delta P_{t1} \cdot g}{G \cdot \delta_I}$$

De esta forma, se calcula la capacidad máxima de aceleración. Este método, es el más lógico de resolver el problema, pero es el más trabajoso. Pasaremos a analizar otro método de lograrlo, de forma más rápida.

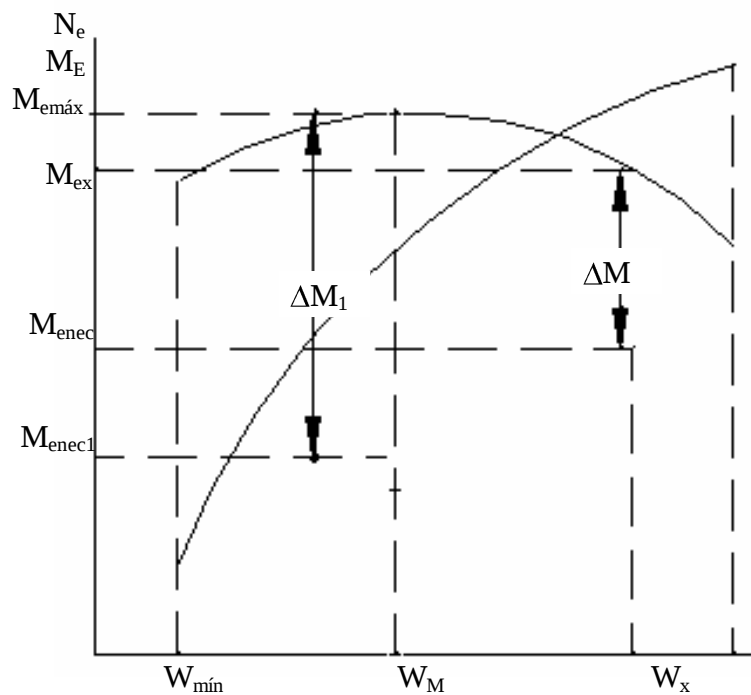


Figura 2.3 Comprobación de las posibilidades del motor.

Si no se posee el dato, se determina el $M_{em\acute{a}x}$ por la característica exterior. Con este

valor, se calcula la $P_{tm\acute{a}x}$ según:
$$P_{tmax} = \frac{M_{emax} \cdot \eta_0}{r_d \cdot i_{cI}}$$

Si esta es la $P_{tm\acute{a}x}$ que puede desarrollar el vehículo en esas condiciones, para lograr la capacidad máxima de aceleración se debe emplear toda la energía disponible en vencer la resistencia al rodamiento y las pérdidas mecánicas de la transmisión (η_0) y en impulsar el vehículo, por tanto, se puede entonces plantear: $P_{tmax} - P_r - P_i = 0$;

$$\frac{M_{emax} \cdot \eta_0}{r_d \cdot i_{cI}} - G \cdot f - \frac{G}{g} \cdot \delta_I \cdot \frac{dV}{dt} = 0$$

$$\therefore \left(\frac{dV}{dt} \right)_{max} = \frac{\frac{M_{emax} \cdot \eta_0}{r_d \cdot i_{cI}} - G \cdot f}{\frac{G}{g} \cdot \delta_I}$$

Como vemos, la anterior expresión, no es más que una variante de la denominada Ecuación General del Movimiento.

2) Determinar la capacidad máxima de aceleración en marcha superior.

Para determinar la capacidad máxima de aceleración en marcha directa o superior, son necesarias las siguientes consideraciones:

- La capacidad máxima de aceleración se determina en cada marcha, para el punto de torque máximo ($M_{e\ m\acute{a}x}$), por lo cual el motor gira con frecuencia angular W_M .
- Con W_M y relación de transmisión total de marcha superior ($i_{c\ MS}$), la velocidad de movimiento no es pequeña, y la resistencia al aire es diferente de cero:

$$V_2 = W_M \cdot r_d \cdot i_{c\ MS}; \quad P_a = K \cdot F \cdot V_2^2$$

- Al igual que en los casos anteriores, se consideran las mejores condiciones viales, o sea, pavimento rígido, horizontal y en buen estado, aunque el cálculo pudiera desarrollarse para condiciones concretas de explotación, es decir, para un valor determinado de pendiente y resistencia al rodamiento.

Se procede de semejante forma, calculando primeramente P_{tnec} para la velocidad constante V_2 :

$$P_{t nec 2} = P_r + P_a = G \cdot f + K \cdot F \cdot V_2^2$$

Se calcula el torque necesario: $M_{enec 2} = \frac{P_{t nec 2} \cdot r_d \cdot i_{c MS}}{\eta_o}$,

y la reserva de torque: $\Delta M_2 = M_{em\acute{a}x} - M_{enec 2}$. Se determina con éste, la reserva de fuerza tractiva que se genera, e igualándola a la fuerza de inercia, se despeja y se determina finalmente la capacidad máxima de aceleración en marcha directa:

$$\Delta P_{t2} = \frac{\Delta M_2 \cdot \eta_o}{r_d \cdot i_{c MS}}; \quad \therefore \left(\frac{dV}{dt} \right)_{\max} = \frac{\Delta P_{t2} \cdot g}{G \cdot \delta_{MS}}$$

El cálculo puede desarrollarse también por la vía más rápida, planteando la ecuación para el movimiento acelerado y despejando de la misma el valor de la capacidad máxima de aceleración:

$$P_{tmax} - P_r - P_a - P_i = \frac{M_{em\acute{a}x} \cdot \eta_o}{r_d \cdot i_{c MS}} - G \cdot f - K \cdot F \cdot V_2^2 - \frac{G}{g} \cdot \delta_{MS} \cdot \left(\frac{dV}{dt} \right)_{\max} = 0$$

3) Determinar la capacidad de aceleración a una velocidad determinada en una marcha determinada.

Para realizar este cálculo, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- En este caso es necesario valorar, si dada la magnitud de la velocidad de movimiento, es necesario o no considerar la resistencia al aire.
- La capacidad de aceleración se medirá en función de las máximas posibilidades energéticas, es decir, con respecto a la característica exterior, a la frecuencia de rotación determinada por la velocidad de movimiento y la marcha conectada.
- Se considerará en este caso, condiciones normales de vía y vehículo con remolque, moviéndose a velocidad V_3 en marcha superior.

El cálculo se desarrollará por la vía rápida y se relacionará con la Figura 2.3

Si el vehículo transita a velocidad V_3 en marcha superior, se determina la frecuencia de rotación del motor por: $W_x = V_3 / r_d \cdot i_{c MS}$.

Para esta frecuencia de rotación, se determina el torque que entrega el motor en característica exterior (M_{ex}). La ecuación del movimiento para tales condiciones es:

$$P_t - P_c - P_a - P_i - P_{gan} = 0$$

Sustituyendo los valores correspondientes en dicha ecuación, tenemos:

$$\frac{M_{ex} \cdot \eta_0}{r_d \cdot i_{cMS}} - G \cdot (\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) - 1,25 \cdot K \cdot F \cdot V_3^2 - \frac{G}{g} \cdot \delta_{MS} \cdot \frac{dV}{dt} - G_r \cdot (\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) - \frac{G_r}{g} \cdot \delta_r \cdot \frac{dV}{dt} = 0$$

despejando

$$\text{obtenemos: } \frac{dV}{dt} = \frac{\frac{M_{ex} \cdot \eta_0}{r_d \cdot i_{cMS}} - (G - G_r) \cdot (\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) - 1,25 \cdot K \cdot F \cdot V_3^2}{\frac{G}{g} \cdot \delta_{MS} + \frac{G_r}{g} \cdot \delta_r}$$

que es el valor buscado de aceleración. Note que la magnitud de P_a se ha afectado con el valor de 1,25, y ello se debe al incremento en un 25% de la resistencia al aire en el vehículo, por la existencia de un remolque.

4) Determinar la máxima capacidad de aceleración a una velocidad determinada.

Para determinar la máxima capacidad de aceleración a una velocidad determinada, hay que tener en cuenta lo siguiente:

- La máxima capacidad de aceleración a una velocidad determinada, cuando no se especifica la marcha, se alcanza en la menor marcha para la cual es posible desarrollar esa velocidad.
- En este caso, se considerará el vehículo sin remolque y transitando en condiciones viales normales.

Primeramente, hay que determinar en que marchas se alcanza la velocidad en cuestión (V_4), comparando la frecuencia de rotación necesaria para lograrlo, con la $W_{\max}$ que es capaz de desarrollar el motor. Se supone la situación siguiente:

$$W_V = \frac{V_4}{r_d \cdot i_{cV}} \leq W_{\max}; \quad W_{IV} = \frac{V_4}{r_d \cdot i_{cIV}} \leq W_{\max}; \quad W_{III} = \frac{V_4}{r_d \cdot i_{cIII}} > W_{\max}$$

Como se observa en 3^{ra} marcha el movimiento no es posible, pues la frecuencia de rotación necesaria para alcanzar esa velocidad rebasa las posibilidades del motor. En este caso, se selecciona la 4ta marcha, pues en ella se alcanzará la máxima capacidad de aceleración para esa velocidad. Con semejante procedimiento al utilizado en los

casos anteriores, se calcula la capacidad de aceleración, y para utilizar la misma Figura 2.3, se supone que al realizar los cálculos $W_{IV} = W_x$.

De tal forma:

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{\max} = \frac{\frac{M_{ex} \cdot \eta_0}{r_d \cdot i_{cIV}} - G \cdot f \cdot \cos \alpha - \sin \alpha}{\frac{G}{g} \cdot \delta_{IV}} \cdot K \cdot F \cdot V_4^2; \quad \text{siendo } \delta_{IV} = 1,04 + \frac{A}{i_{sIV}^2}; \quad A = 0,04 - 0,06$$

c) Determinar la velocidad máxima ($V_{\max}$) en unas condiciones viales dadas, en una marcha superior.

La $V_{\max}$, en unas condiciones viales determinadas, se alcanza cuando la fuerza tractiva que es capaz de generar el vehículo con máximo suministro de combustible (P_{tx}), en una marcha determinada, generalmente en marcha directa o marcha superior, se iguala a la resistencia sumaria al movimiento, es decir, a la P_{trec} : $P_{txMS} = P_{trec}$. De aquí se

obtiene:
$$\frac{M_{ex} \cdot \eta_0}{r_d \cdot i_{cMS}} = P_c + P_a + P_{gan}$$

Si se sustituye y se expresa M_{ex} en función de la velocidad, y se considera constante la eficiencia de la transmisión, se llega a una expresión de segundo grado, del tipo:

$$a \cdot W_v^2 + b \cdot W_v + c = 0, \quad \text{que se resuelve tradicionalmente según: } W_v = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}.$$

En este caso:

$$a = G \cdot k_f + K \cdot F + \frac{\beta \cdot C_3}{V_N^2}; \quad b = -\frac{\beta \cdot C}{V_N}; \quad c = G \cdot f - \beta \cdot C_1;$$

$$\beta = \frac{N_{emáx} \cdot \eta_0 \cdot 10^3}{V_N}; \quad V_N = W_N \cdot r_d \cdot i_{cMS}; \quad k_f = 7 \cdot 10^{-6}$$

La determinación de la velocidad máxima puede realizarse también por vía gráfica, planteando en un gráfico de P_t vs V , los valores de P_{tx} y P_{trec} , en la marcha analizada, como se muestra en la figura:

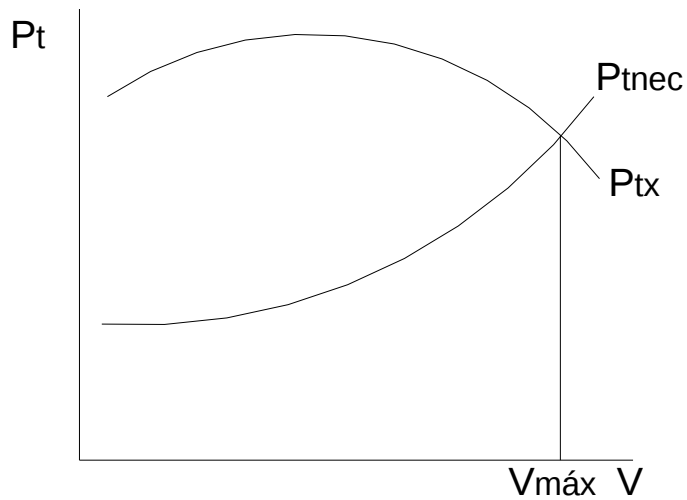


Figura 2.4 Determinación gráfica de la velocidad máxima.

d) Determinar el peso máximo del remolque ($G_{rmáx}$), que se puede traccionar en marcha superior, en condiciones viales determinadas.

En marcha superior, el $G_{rmáx}$ que se puede traccionar, se determina cuando el motor del vehículo entrega $M_{e\ máx}$, por lo cual se moverá a la velocidad que determina la $i_{c\ MS}$ y la W_M . Entonces:

$$P_{tmax} - P_r - P_a - P_{gan} = \frac{M_{e\ max} \cdot \eta_0}{r_d \cdot i_{c\ MS}} - G \cdot (f + p) - 1.25 \cdot K \cdot F \cdot V_2^2 - G_r \cdot (f + p) = 0$$

$$\text{De aquí se despeja: } G_{rmáx} = \frac{\frac{M_{e\ max} \cdot \eta_0}{r_d \cdot i_{c\ MS}} - G \cdot (f + p) - 1.25 \cdot K \cdot F \cdot V_2^2}{f + p}$$

Este valor no debe confundirse con el de la carga útil que puede transportarse en el remolque, pues en realidad, el valor determinado representa la suma de esta más el peso propio del remolque.

Estos son casos típicos, pero como se ha expresado anteriormente no son los únicos, y en cada caso que se presente, con las ecuaciones utilizadas y un razonamiento lógico, se puede arribar a una respuesta.

Aunque se ha venido utilizando ya la condición general del movimiento, esta se expresa según:

$P_{t\ nec} \leq P_{tx} \leq P_{\mu} = \mu \cdot R_{yt}$ donde P_{tx} representa la fuerza tractiva que se genera en las ruedas, a partir del torque entregado por el motor y la relación de transmisión conectada.

2.3 Conclusiones del Capítulo.

De los resultados del capítulo se pueden formular las siguientes conclusiones:

1. La metodología descrita es en general; aplicable para evaluar remotorizaciones en cualquier vehículo.
2. La remotorización de un vehículo con motor de gasolina por uno diesel, requiere generalmente el cambio del embrague, por las diferencias en momento torsor y por el trabajo inestable propio del diesel. Cuando se sustituyen un motor diesel por otro diesel, de semejantes características, ello no es necesario, como es el caso del presente trabajo.
3. La sustitución de motores en un vehículo puede provocar variaciones en las cualidades dinámicas del mismo, cuando existe diferencia sensible en los parámetros de salida de ambos motores, como son: pendiente máxima, capacidad de aceleración máxima, reserva de fuerza tractiva máxima, velocidad máxima y otras; pudiendo ser aconsejable en algunos casos el cambio de la caja de velocidades y/o el puente motriz, para obtener mejores cualidades dinámicas. Por estas razones, se hace imprescindible la valoración del cambio que se produce en las cualidades dinámicas al realizar la remotorización.
4. Por su importancia práctica, es preciso valorar el cambio que se produce, favorable o no, en los indicadores de consumo de combustible del vehículo.

Capítulo III Análisis de los Resultados.

3.1 Análisis de las Características exteriores de velocidad.

En las Figuras 3.1 y 3.2 se muestran las características exteriores de velocidad del motor original del vehículo y la del motor que se evalúa para la remotorización, respectivamente. Los parámetros de salida (potencia y torque) del motor original son mayores que los correspondientes al motor nuevo. Por otra parte, el motor Detroit Diesel posee menor frecuencia de rotación máxima que el Sinotruk. Estas diferencias incidirán en las cualidades dinámicas del vehículo remotorizado.

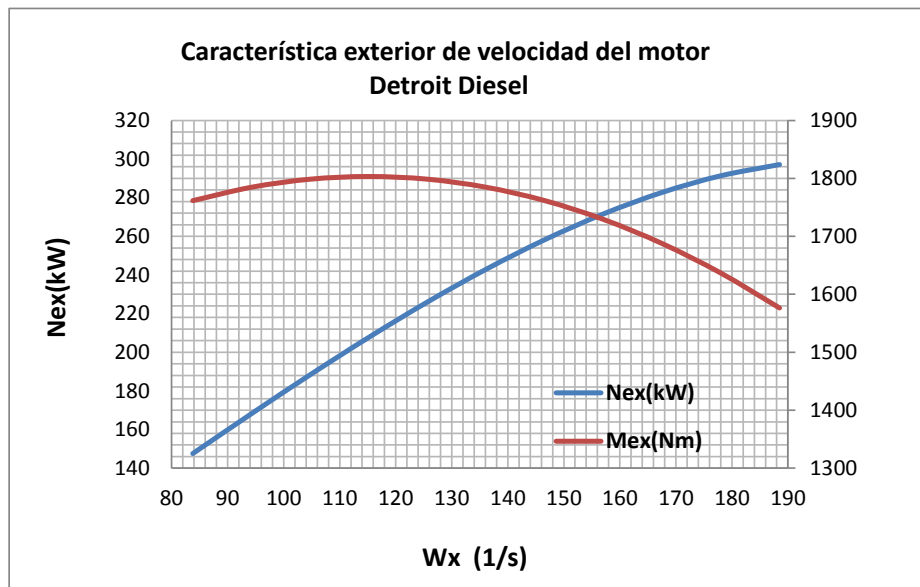


Figura 3.1 Característica exterior de velocidad del motor Detroit Diesel

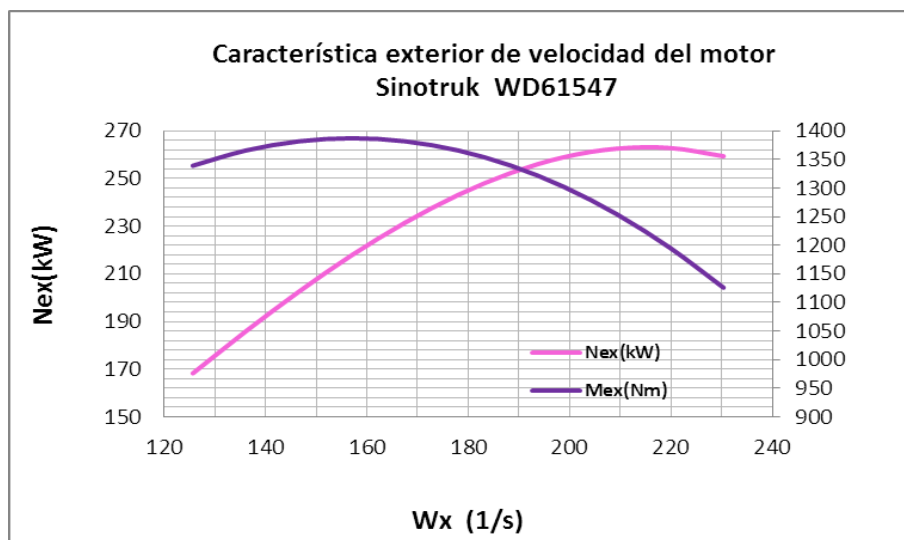


Figura 3.2 Característica exterior de velocidad del motor Sinotruk WD61547.

A continuación se muestran las tablas 3.1 y 3.2, con los resultados del cálculo teórico de la característica exterior de velocidad del motor Detroit Diesel y la del motor Sinotruk, obtenidos según la metodología descrita en el capítulo anterior. Para la construcción de la característica exterior de los dos motores se empleó el criterio de Aragón, de los tres que se disponían, ya que con el mismo se obtienen resultados semejantes a los ofrecidos por el fabricante.

En las tablas pueden apreciarse más claramente las diferencias entre ambos motores:

Tabla 3.1 Característica exterior del motor Detroit Diesel		
Wx	Nex	Mex
83.78	147.58	1761.59
94.25	168.21	1784.73
104.72	188.35	1798.61
115.19	207.72	1803.24
125.66	226.02	1798.61
136.14	242.97	1784.73
146.61	258.26	1761.59
157.08	271.62	1729.20
167.55	282.75	1687.55
178.02	291.36	1636.64
188.50	297.16	1576.48

Tabla 3.2 Característica exterior Sinotruk del motor WD61547		
Wx	Nex	Mex
125.66	168.27	1339.01
136.14	185.92	1365.67
146.61	202.56	1381.67
157.08	217.87	1387.00
167.55	231.50	1381.67
178.02	243.12	1365.67
188.50	252.40	1339.01
198.97	258.99	1301.69
209.44	262.57	1253.70
219.91	262.80	1195.05
230.38	259.35	1125.73

En cuanto a la frecuencia de rotación, en el Detroit Diesel varían desde 83,78 – 188,50 rad/s y en el Sinotruk se encuentra en un rango 125,66 – 230,28 rad/s. La frecuencia de rotación máxima del Sinotruk es mayor que en el Detroit Diesel, y ello provocará cambios en la velocidad teórica máxima. No obstante, se debe recordar, que la velocidad más importante no es precisamente la teórica, sino la velocidad real, que depende en iguales condiciones viales, de las cualidades dinámicas del vehículo, superiores en el Detroit Diesel. La importancia de la velocidad teórica radica, en la posibilidad que le brinda al vehículo, de desarrollar velocidades superiores a la real en terreno llano en movimientos de descenso.

En cuanto a la potencia, en el Detroit Diesel varía desde 147,58 - 297,16 kW, mientras que en el Sinotruk varía desde 168,27 - 259,35 kW.

Correspondientemente, el torque en el motor Detroit Diesel va desde 1761,59 – 1576,48 N.m siendo 1803,24 N.m su máximo valor y para el motor Sinotruk se encuentra entre 1339,01 – 1125,73 N.m, con un valor máximo de 1387 N.m. Esto le otorga más fuerza

tractiva al vehículo original, para vencer las resistencias al movimiento en todas las marchas.

Ahora bien los coeficientes de elasticidad en ambos motores, muestran resultados aparentemente contradictorios:

- El Detroit Diesel que tiene mayor torque máximo y potencia máxima, posee menor coeficiente de elasticidad de torque (e_M) que el Sinotruk;
- El Sinotruk, que tiene mayor frecuencia de rotación máxima, posee menor coeficiente de elasticidad de frecuencia de rotación (e_n). (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Coeficientes de elasticidad de ambos motores.

Motor	e_M	e_n	E
Sinotruk	1.23	1.46	1.80
Detroit Diesel	1.14	1.63	1.87

El coeficiente de elasticidad total (E), no obstante, es un tanto mayor en el Detroit Diesel.

Con relación al coeficiente de elasticidad de torque, que no es más que la relación entre el torque máximo y el torque a potencia máxima, es mayor en el Sinotruk, porque la razón de cambio del torque máximo del Detroit Diesel con respecto al Sinotruk (1,3), es menor que la correspondiente al torque a potencia máxima (1,4). Esto se debe a que la curva de potencia en el Sinotruk cae en las altas frecuencias de rotación y hace que el torque a potencia máxima descienda más bruscamente en este tramo.

Con relación al coeficiente de elasticidad de frecuencia de rotación, que no es más que la relación entre la frecuencia de rotación a potencia máxima y la frecuencia de rotación a torque máximo, es mayor en el Detroit Diesel pues la razón de cambio de la frecuencia de rotación del Sinotruk con respecto al Detroit Diesel a potencia máxima (1,22) es menor que la correspondiente a torque máximo (1,36). Por tal razón, al caer más la frecuencia de rotación a torque máximo se incrementa más el coeficiente de elasticidad de frecuencia de rotación en el Detroit Diesel. (Ver Figura. 3.3)

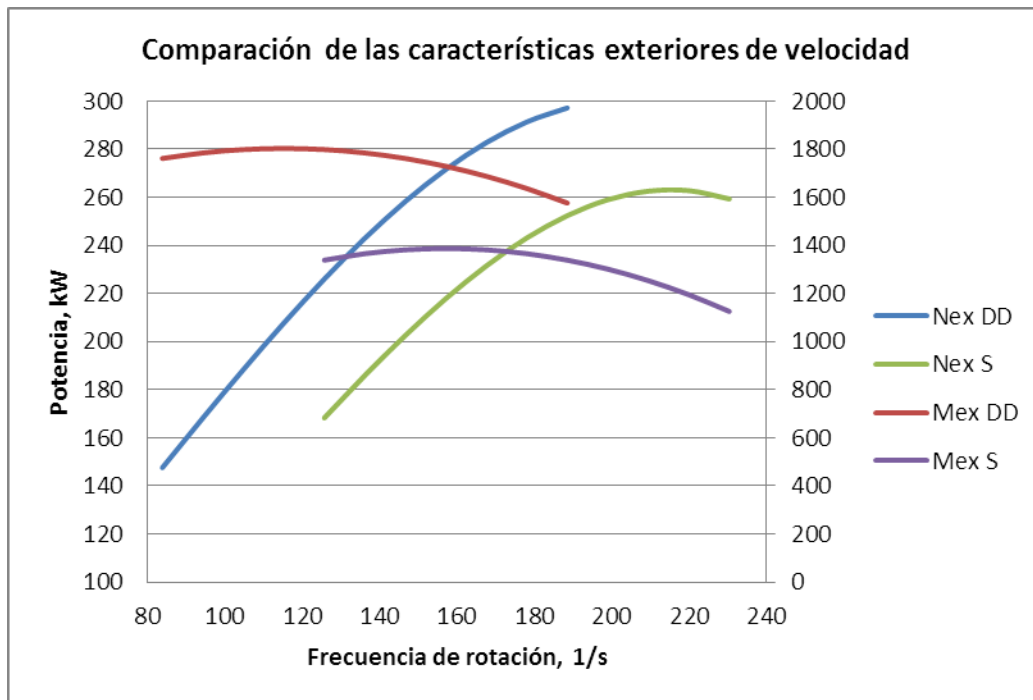


Figura 3.3 Comparación de las características de velocidad de ambos motores

3.2 Análisis de las Características tractivas.

En las tablas 1 y 2 del Anexo se muestran los resultados del cálculo de la característica tractiva para las marchas 9na y 10ma de ambos vehículos: original y modificado, pues constituyen las marchas de explotación.

Al analizar la característica tractiva del vehículo original y el modificado, se observa:

- Que la fuerza tractiva generada por el vehículo original en cada una de sus marchas es superior a la del vehículo modificado, en correspondencia con su mayor torque.
- La velocidad teórica máxima en el vehículo original (22,98 m/s) es menor que en el vehículo remotorizado (28,09 m/s), en correspondencia con su mayor frecuencia de rotación máxima.

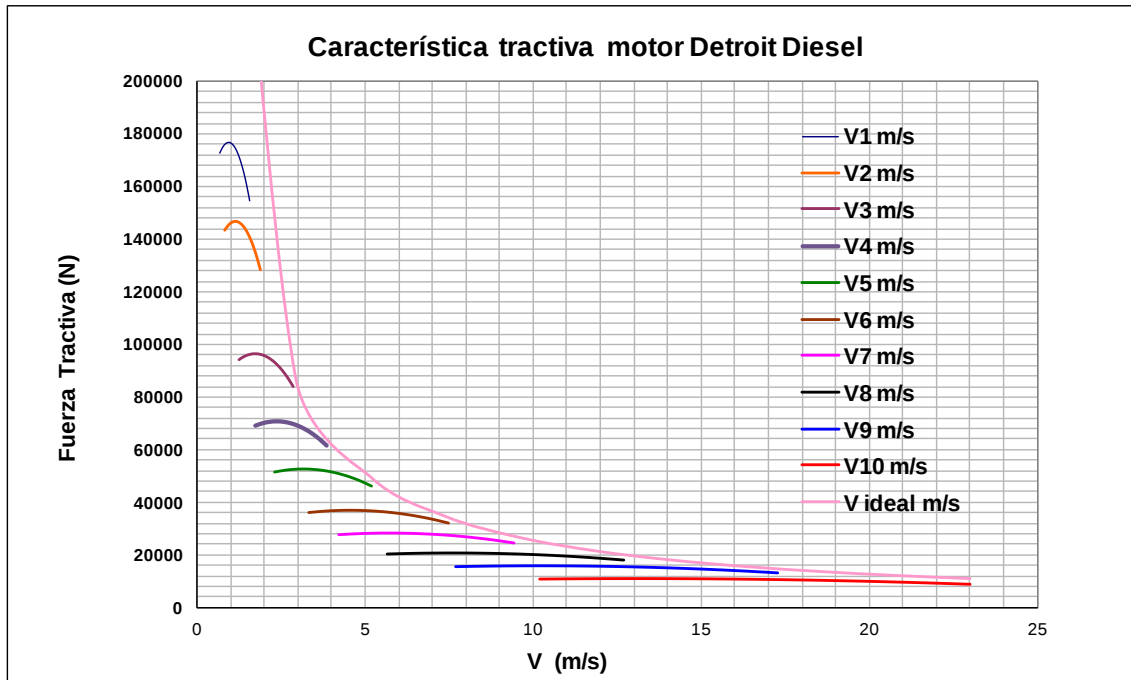


Figura 3.4 Característica tractiva del vehículo con el motor Detroit Diesel

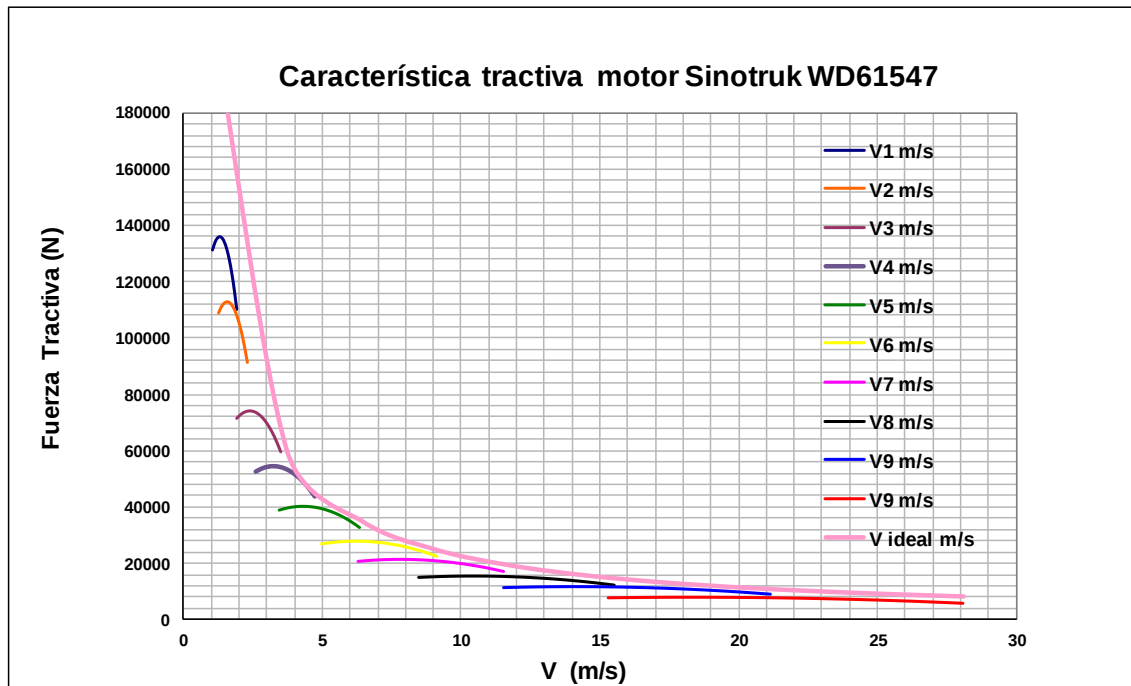


Figura 3.5 Característica tractiva del motor SinotrukWD61547

A continuación se analizan los coeficientes que toman en cuenta la relación motor-sistema de transmisión, de mucha utilidad para valorar, en función de la característica tractiva, las cualidades dinámicas del vehículo.

1.-El solape total entre marchas:

Al valorar el solape en el vehículo original y el modificado, obtenemos los siguientes resultados:

En la tabla 3 del Anexo se muestran los cálculos preliminares para la determinación del coeficiente de recubrimiento, el cual valora el solape entre marchas. Los resultados finales se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 3.4. Determinación del coeficiente de recubrimiento en los vehículos original y modificado.

Vehículo	Coeficiente de recubrimiento
Original	0.5293
Modificado	0.4287

Como puede observarse, es mayor el coeficiente en el vehículo original, lo cual muestra que este posee más suavidad en el cambio de marcha, es decir, capacidad para realizar más fácilmente los cambios de marcha. La mayor velocidad máxima del Sinotruk, daba la impresión de que mostraría mayor coeficiente de recubrimiento, pero el coeficiente depende no sólo de la velocidad máxima, sino también de la mínima, menor en el caso del Detroit Diesel.

2.-Selectividad.

En la tabla 4 del anexo se muestran los cálculos preliminares para la determinación del coeficiente que valora la selectividad de marcha. Los resultados de la determinación del coeficiente de selectividad se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 3.5. Determinación del coeficiente de selectividad en los vehículos original y modificado.

Vehículo	Coeficiente de selectividad
Original	0.5050
Modificado	0.7496

Esto muestra que el vehículo modificado puede desarrollar mayores velocidades para iguales cargas, con menores indicadores de consumo de combustible, en función de

poder establecer mejores coeficientes de aprovechamiento de la potencia. Esto se logra en el vehículo modificado gracias a su mayor frecuencia de rotación y a la forma de su curva de torque (mayor elasticidad de torque).

3.-Áreas de ausencia de potencia.

En la tabla 5 del anexo se muestran los cálculos preliminares para la determinación del coeficiente que valora el aprovechamiento del área. Los resultados de la determinación del coeficiente de aprovechamiento del área ideal se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 3.6. Determinación del coeficiente de aprovechamiento del área ideal en los vehículos original y modificado.

Vehículo	Coeficiente de de aprovechamiento del área ideal
Original	88.7362
Modificado	80.0825

Esto muestra que existe mayor coincidencia entre el área ideal y la real en el vehículo original, lo cual debe reflejarse en mejores cualidades dinámicas para el vehículo original, en lo fundamental las relacionadas con su capacidad de aceleración.

3.3 Los indicadores cinemáticos y dinámicos.

1.-Pendiente máxima y capacidad de aceleración máxima.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del cálculo de ambos indicadores para el vehículo original y el remotorizado:

Como puede apreciarse, en correspondencia con su mayor torque, el vehículo original muestra diferencias sensibles con el modificado, tanto en la pendiente máxima que puede ascender desde el reposo en primera marcha, como en la capacidad de aceleración máxima que es capaz de desarrollar en esa misma marcha. Estos dos indicadores muestran las diferencias que se establecen en las cualidades dinámicas de ambos vehículos, favorables al vehículo original.

Tabla 3.7. Determinación de la pendiente máxima y la aceleración máxima en 1ra marcha.

Vehículo	Memáx	VM1	Efic1	Ptmáx1	Ptnec1	$\alpha_{máx}$	dV/dtmáx1
Original	1803.24	0.95	0.81	177005.20	4887.91	22.93	0.5343
Modificado	1387.00	1.30	0.81	135938.63	4892.92	17.85	0.4068

2.-Capacidad de aceleración en diferentes condiciones.

En la tabla 3.8 se muestran los resultados del cálculo de la capacidad de aceleración para diferentes condiciones de movimiento.

Tabla 3.8. Capacidad de aceleración del vehículo original y el modificado para diferentes condiciones de movimiento.

Vehículo	Indicador	Mex	V i	Efic i	Ptmáx i	dV/dt
Original	dV/dtmáx en	1803.24	14.04	0.73	10762.77	0.1323
Modificado	marcha superior	1387.00	19.15	0.68	7784.88	0.0652
Original	dV/dtmáx en	1803.24	10.56	0.79	15593.74	0.2289
Modificado	marcha directa	1387.00	14.40	0.77	11576.57	0.1344
Original	dV/dt a 60 km/h	1783.73	16.67	0.52	10087.83	0.0973
Modificado	en marcha superior	1366.79	16.67	0.43	6369.76	0.0154

En correspondencia con los mayores parámetros de salida del motor original, y partiendo de que el sistema de transmisión del vehículo no se modifica, los resultados del cálculo de la capacidad de aceleración en las diferentes condiciones de movimiento, brinda resultados superiores en el vehículo original. Estos indicadores muestran sus mejores cualidades dinámicas en tal sentido. Las dos primeras muestran la máxima capacidad de aceleración que puede alcanzarse en las marchas respectivas, cuando el vehículo se mueve a la velocidad que brinda la frecuencia de rotación para el torque máximo, es decir, aplicando el torque máximo en el motor. La tercera muestra la capacidad de aceleración en marcha superior, pero a la velocidad de 60 km/h, aplicando el torque que se obtiene para la frecuencia de rotación, que en esa marcha, permite el movimiento a esa velocidad. Esta es una velocidad frecuente de movimiento.

3.-La velocidad máxima real que puede desarrollar el vehículo en marcha superior y marcha directa.

La determinación de la velocidad máxima, para ambas marchas, la realizamos por el método gráfico, donde se plotean la fuerza tractiva que genera el vehículo con máximo suministro de combustible y la fuerza tractiva necesaria para vencer las resistencias al movimiento en esa marcha a la velocidad respectiva. A continuación mostramos los resultados en las Figuras 3.6 y 3.7.

De las gráficas se observa que:

- A pesar de su mayor frecuencia de rotación máxima, y producto de sus menores parámetros de salida, el vehículo modificado alcanza una velocidad real menor en la marcha superior: 22,98 m/s (82,72 km/h) en el vehículo original contra 21,71 m/s (78,15 km/h) en el vehículo modificado. No son grandes diferencias, pero marcan la incidencia de las mejores cualidades dinámicas del vehículo original.
- En marcha directa (novena marcha), una marcha también usual de movimiento de operación, la velocidad máxima del vehículo modificado resulta mayor que la del vehículo original, partiendo de que en esta marcha existe mayor reserva de fuerza tractiva para ambos vehículos, y por tanto, se impone la mayor frecuencia de rotación del motor del vehículo remotorizado: 21,12 m/s (76,03 km/h) para el vehículo remotorizado contra 17,28 m/s (62,20 km/h) para el vehículo original. Aquí la diferencia es más sensible.

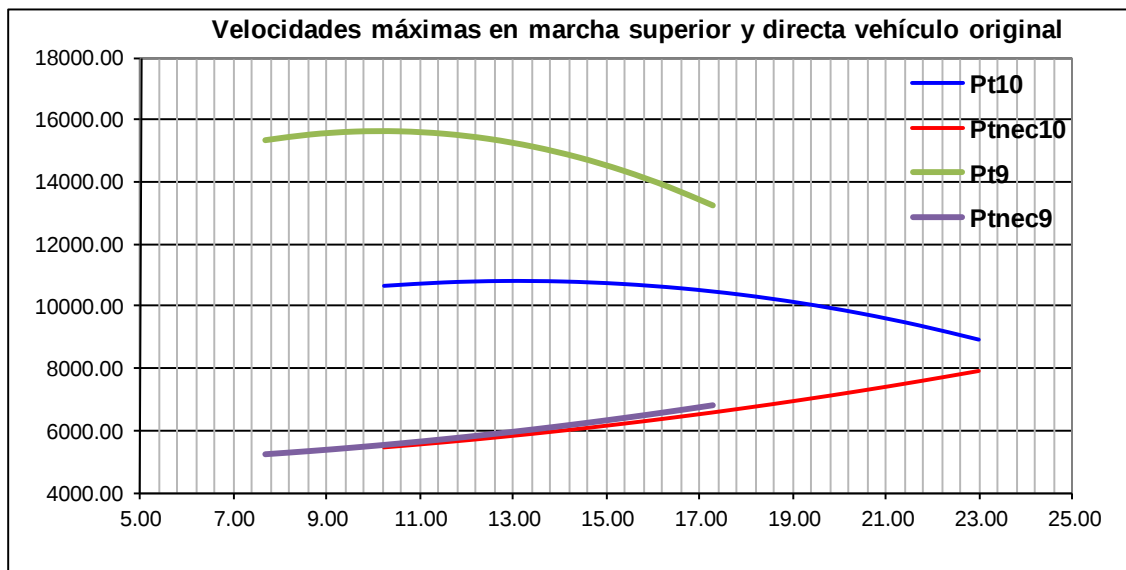


Figura 3.6 Velocidades máximas en marcha superior y directa para el vehículo con motor Detroit Diesel.

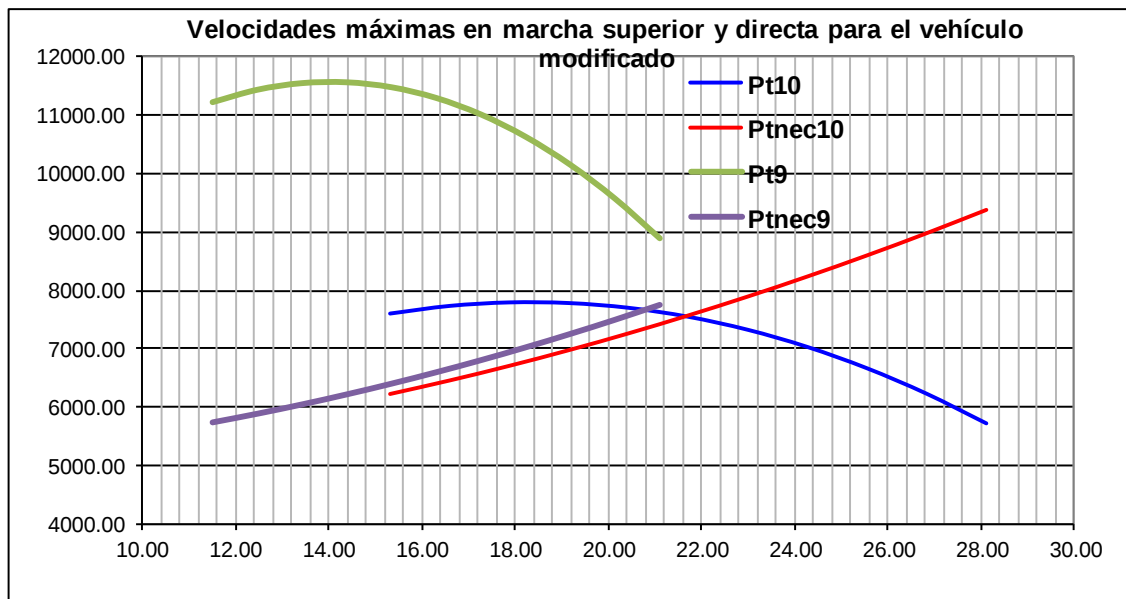


Figura 3.7 Velocidades máximas en marcha superior y directa para el vehículo con motor Sinotruk.

- No obstante lo anterior, hay que tener en consideración, que la determinación de la velocidad máxima se realiza en las mejores condiciones de movimiento, es decir, vía asfaltada en buen estado y pendiente cero. Por tal razón, cuando empeoren las condiciones de movimiento, el vehículo original, en función de su mayor reserva de fuerza tractiva, podría desarrollar mayores velocidades de movimiento en marcha directa.

4.-Peso máximo que pudiera traccionar en un remolque en diferentes condiciones de movimiento.

En la tabla 3.9 se muestran los resultados obtenidos en la determinación del peso máximo que pudiera traccionar el vehículo en buenas condiciones viales ($f=0,012$ y $p=0$). Se determina el peso máximo que puede traccionar el vehículo, en la marcha correspondiente, cuando el vehículo se mueve a la frecuencia de rotación de torque máximo, es decir, aplicando el torque máximo en el motor.

Tabla 3.9. Determinación del peso máximo a traccionar en un remolque en diferentes condiciones de movimiento

Vehículo:	En marcha superior a WM, N	En marcha directa a WM, N
Original	345 261.15	782 348.67
Modificado	38 325.18	399 143.38

Los resultados muestran:

- El vehículo original, en función de sus cualidades dinámicas, es capaz de traccionar un peso máximo del remolque en marcha superior muy superior al del vehículo modificado. Prácticamente, el vehículo modificado sólo puede traccionar el peso del remolque casi vacío, o sea, no puede moverse con remolque en la marcha superior, por su baja reserva de fuerza tractiva.
- En marcha directa el vehículo original puede traccionar 1,96 veces el peso máximo del remolque que el vehículo remotorizado.

5.-El indicador de consumo de combustible para ambos vehículos.

En las tablas 1 y 2 del Anexo, se muestran los resultados obtenidos en el cálculo del indicador de consumo recorrido para el vehículo original (VO) y el vehículo modificado (VM). Para su mejor comprensión se representa el comportamiento del consumo recorrido en ambos vehículos en la Figura 3.8. El análisis de la misma arroja lo siguiente:

- En 10ma marcha el consumo recorrido del vehículo modificado es mayor que el del vehículo original, en casi todo el rango de frecuencias de rotación. Sólo a velocidades muy bajas, en un pequeño intervalo entre 15-17m/s, el consumo recorrido del vehículo modificado es menor al del vehículo original. En el resto de las velocidades el consumo recorrido es muy superior en el vehículo modificado, si bien los valores de consumo que se obtienen en el vehículo modificado para velocidades superiores a los 20 m/s son irreales, por cuanto se obtienen para coeficientes de aprovechamiento de la potencia superiores a la unidad, lo cual es imposible.

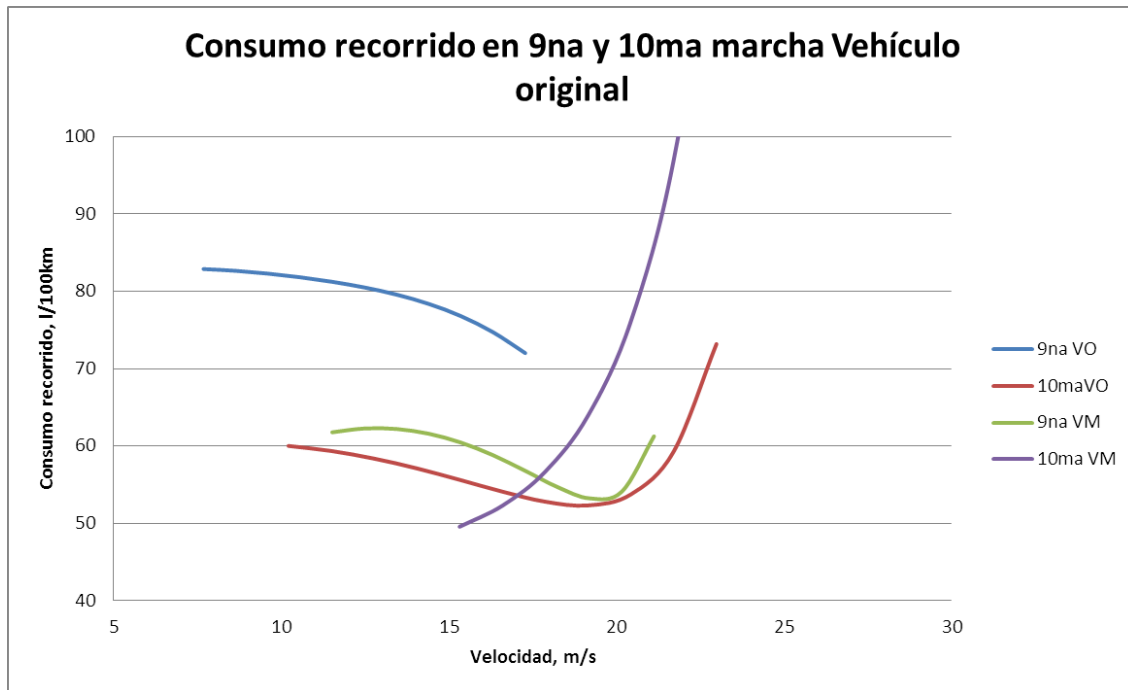


Figura 3.8 Consumo recorrido en marcha superior y directa para el vehículo original y el modificado.

- El vehículo original puede trabajar con indicadores de consumo propios de su alta capacidad de carga en todo el rango de velocidades en marcha superior, a diferencia del modificado, que sólo puede trabajar en un estrecho rango de velocidades.
- En marcha directa, es decir, en 9na marcha, la situación es diferente, pues en todo el rango de velocidades el consumo recorrido del vehículo modificado es menor que el del vehículo original. Esto se debe a que el vehículo modificado trabaja en esta marcha en todo el rango de velocidades con adecuado coeficiente de aprovechamiento de la potencia (entre 0,51-0,87), mientras que el vehículo original trabaja con muy bajos coeficientes de aprovechamiento de la potencia, que incrementan su consumo. Tal y como se mostró en la evaluación del peso máximo del remolque, el vehículo original tiene grandes posibilidades de traccionar remolques por sus reservas de fuerza tractiva, tanto en 9na como en 10ma marcha. Esto le otorgaría coeficientes de aprovechamiento de la potencia más adecuados e indicadores de consumo recorrido específico (l/t-km) más bajos.

- Este análisis nos conduce a concluir que las posibilidades de trabajo del vehículo modificado están limitadas en 10ma marcha. Al tener que trabajar en la marcha directa la mayor parte del tiempo cuando el vehículo está cargado, implica que con respecto al vehículo original, a la misma velocidad, va a tener una mayor tendencia al desgaste, ya que para alcanzar una velocidad determinada en marcha directa hacen falta mayores frecuencias de rotación del motor que en marcha superior, por lo que la frecuencia de rotación sumaria por kilómetro recorrido se incrementa.

Como quiera que se trate del mismo vehículo, con uno u otro motor, sin que ello implique diferencia sensible en el peso total del vehículo, no conduce a ningún resultado evaluar el consumo a partir del indicador de consumo recorrido específico (l/t-km).

3.4 Conclusiones parciales.

1. Las diferencias apreciadas en los resultados obtenidos con el vehículo original y el modificado, evidencian la importancia de los parámetros de salida en el desempeño del vehículo.
2. Los indicadores y herramientas utilizadas han ido mostrando claramente las ventajas e inconvenientes de la remodelación del vehículo.
3. Los mayores parámetros de salida del vehículo original han incidido en la mejor elasticidad de frecuencia de rotación, elasticidad total, coeficiente de recubrimiento, coeficiente de aprovechamiento del área ideal, aspectos que repercuten en sus mejores cualidades de impulso, suavidad de marcha, capacidad de traccionar remolques y menores consumos en la marcha superior, además del mejor aprovechamiento del rango de velocidades de la marcha superior.
4. Las buenas cualidades del motor propuesto, a pesar de sus menores indicadores de salida, inciden en una mayor elasticidad de torque y mayor selectividad. Si estos resultados no repercuten sobremanera sobre las cualidades dinámicas del vehículo modificado, ello se debe a que sus parámetros de diseño (Peso total, relaciones de transmisión y otros), están concebidos para motores de mayor potencia. No obstante, se reflejan en las marchas intermedias, como la 9na, donde alcanza coeficientes de aprovechamiento de la potencia apropiados.

5. En el resto de las marchas intermedias, dados sus menores parámetros de salida alcanza menores valores de consumo recorrido, pues en virtud de ellos su coeficiente de aprovechamiento de la potencia es mayor.

Conclusiones Generales

Al concluir el trabajo de diploma se arriba a las siguientes conclusiones:

1. El trabajo desarrollado cumple con los objetivos propuestos para el presente trabajo de diploma.
2. La metodología utilizada permite evaluar sobre bases técnicas la factibilidad de remotorización, a partir de indicadores que evalúan desde diferentes ángulos una problemática tan compleja.
3. La remotorización propuesta es factible de realizar. Desde el punto de vista de resistencia, los menores parámetros de salida del nuevo motor no hacen necesario el desarrollo de recálculos, si bien presenta algunas limitaciones desde el punto de vista de sus cualidades dinámicas, entre otros:
 - Sus bajos parámetros de salida no posibilitan utilizar todo el rango de velocidades en la marcha superior, a pesar de su mayor velocidad teórica máxima, alcanzando, dados sus altos coeficientes de aprovechamiento de la potencia, mayores indicadores de consumo recorrido.
 - En relación con sus parámetros de salida, su capacidad de aceleración es menor en todas las marchas. Esto limita su posibilidad de arribar a la velocidad estable de movimiento en menor tiempo, partiendo del reposo, o de alcanzar velocidades estables en condiciones de tráfico intenso.
 - La suavidad en el cambio de marcha, dado su menor coeficiente de recubrimiento, se encuentra en desventaja con relación al vehículo original, sin que ello constituya una limitante de peso.
 - Dadas las mismas circunstancias, la posibilidad de elevar el rendimiento del vehículo con la utilización de remolques está limitada.
4. No obstante, podemos señalar que, con carga máxima, sus indicadores de consumo recorrido son superiores en 9na marcha, dado que en la misma, sus coeficientes de aprovechamiento de la potencia son más adecuados, en comparación con un vehículo, que como el original puede trabajar en esa marcha y en la superior con remolques. En el resto de las marchas intermedias al poseer también menores

indicadores de consumo pudiera brindarle menor consumo en los procesos de impulso.

5. La mayor selectividad del vehículo modificado le posibilita en las marchas intermedias transitar a mayores velocidades con mejor coeficiente de aprovechamiento de la potencia.

Recomendaciones

Al concluir el trabajo de diploma proponemos las siguientes recomendaciones:

1. Tomar en consideración los aspectos señalados a la hora de decidir si se lleva a cabo la remotorización propuesta.
2. Si es factible, valorar otras propuestas de remotorización, evaluándolas con la metodología que hemos propuesto.
3. En caso de remodelar el vehículo con motores de mayores parámetros de salida, se hace necesario incluir dentro de la metodología la comprobación de resistencia de los diferentes elementos del sistema de transmisión.
4. Presentar el trabajo en eventos científicos en la entidad, para que sus especialistas ganen en elementos de juicio, sobre los aspectos necesarios a tomar en consideración, al desarrollar trabajos de esta naturaleza.
5. Continuar desarrollando la metodología propuesta con nuevos elementos, indicadores y métodos de evaluación, que surjan como un producto del trabajo investigativo.

Bibliografía

- Aragón Marrero, R. (1984). Comprobación del método teórico para el cálculo de la característica exterior de velocidad de los motores de combustión interna. Informe final de investigación. ISPJAE.
- Aragón Marrero, Rigoberto. (1988). Metodología de evaluación técnica de oferta de automóviles de carga.
- Aragón Marrero, Rigoberto. (1988). *Metodología de evaluación técnica de oferta de automóviles de carga*.
- Arias Paz, Manuel. (2004). *Manual de automóviles*. Madrid: Dossat.
- Benítez. (1995). *Construcción y cálculo del automóvil*. La Habana: CUJAE.
- Fuentes Vega, J.R, Cogollos Martínez, J.B, & Pérez Gálvez, R. (2004). *Eficiencia Energética en el Transporte Automotor*. Carlos Rafael Rodríguez.
- Fuentes Vega, José Ramón, Cogollo Martínez, Juan B, & Pérez Gálvez, Ramón. (2007). *Eficiencia Energética en el Transporte Automotor*. Carlos Rafael Rodríguez.
- Fuentes, Alain. (1995a). *Evaluación de variantes de ahorro de combustible del motor ZIL-130 en banco de ensayo de motores*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Fuentes, Alain. (1995b). *Evaluación de variantes de ahorro de combustible del motor ZIL-130 en banco de ensayo de motores*.
- Garinov ,V. A. (1985). Teoría y Construcción del Automóvil. Construcción de Maquinaria.
- Ilarionov, V. A. (1985). *Teoría y construcción de automóviles*. Moscú: Mir.
- Jóvaj, M.S, & Máslov, G.S. (2004). *Motores de Automóviles*. Moscú: Mir.
- Lauzurique, Higinio Luna. (1982). *Explotación Técnica de Automóviles*. La Habana: ENSPES.
- Litvinov A.S, & Farovin, A.E. (1981). *Teoría de Cualidades Explotativas*. Moscú: Construcción de Maquinaria.
- Litvinov A.S, & Farovin. G.A.E. (1989). *Teoría de Cualidades Explotativas*. Moscú: Construcción de Maquinaria.

Litvinov, A. (1989). *El automóvil: Teoría de cualidades de explotación*/ A. S. Moscú: Construcción de Maquinarias.

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*. grado científico, Carlos Rafael Rodríguez.

Pérez Gálvez, Ramón. (2007). *Modelación de ciclos de viaje e indicadores dinámicos y de consumo para vehículos pesados*.

Rivero Hernández, Vicente. (1981a). *Teoría y Construcción de Automóviles*. La Habana: Pueblo y Educación.

Rivero Hernández, Vicente. (1981b). *Teoría y Construcción de Automóviles*. La Habana: Pueblo y Educación.

Szczepanik, C, Aragón, R, & Basté, J. (1981a). *Teoría del Automóvil*. La Habana: Pueblo y Educación.

Szczepanik, C, Aragón, R, & Basté, J. (1981b). *Teoría del Automóvil. Problemas*. La Habana: Pueblo y Educación.

Szczepanik, C, R. Aragón, & Basté, J. (1981). *Teoría del Automóvil*. La Habana: Pueblo y Educación.

Szczepanik, C. R, & Aragón, J. (1981a). *Teoría del Automóvil*. La Habana: Pueblo y Educación.

Szczepanik, C. R, & Aragón, J. (1981b). *Teoría del Automóvil: Problemas*. La Habana: Pueblo y Educación.

Toledo Dorrego, A, & A. Muñoz. (2006). *SECDC: Sistema de evaluación de cualidades dinámicas y de consumo: 4to Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica*. ISPJAE.

Anexo

Tabla 1 Determinación de la característica tractiva y del consumo recorrido en el vehículo original en cada marcha.

1ra marcha												
Wx	Nex	Mex	V1, m/s	V1, km/h	Efic1	Pt1	Ptnec1	Apot	Ka1	Kn1	ge1	Q1, l/100km
83,78	147,58	1761,59	0,69	2,50	0,81	172906,85	4885,17	0,03	3,44	1,00	751,02	147,37
94,25	168,21	1784,73	0,78	2,81	0,81	175185,83	4885,98	0,03	3,45	0,98	738,91	145,01
104,72	188,35	1798,61	0,87	3,12	0,81	176551,95	4886,90	0,03	3,45	0,97	728,82	143,06
115,19	207,72	1803,24	0,95	3,44	0,81	177005,20	4887,91	0,03	3,45	0,96	720,98	141,55
125,66	226,02	1798,61	1,04	3,75	0,81	176545,59	4889,02	0,03	3,45	0,95	715,65	140,54
136,14	242,97	1784,73	1,13	4,06	0,81	175173,12	4890,22	0,03	3,45	0,95	713,05	140,07
146,61	258,26	1761,59	1,22	4,37	0,81	172887,78	4891,52	0,03	3,44	0,95	713,40	140,19
157,08	271,62	1729,20	1,30	4,69	0,81	169689,58	4892,92	0,03	3,44	0,95	716,92	140,94
167,55	282,75	1687,55	1,39	5,00	0,81	165578,52	4894,41	0,03	3,44	0,97	723,79	142,35
178,02	291,36	1636,64	1,48	5,31	0,81	160554,59	4896,00	0,03	3,43	0,98	734,20	144,47
188,50	297,16	1576,48	1,56	5,62	0,81	154617,80	4897,69	0,03	3,42	1,00	748,28	147,32

2da marcha												
Wx	Nex	Mex	V2, m/s	V2, km/h	Efic2	Pt2	Ptnec2	Apot	Ka2	Kn2	ge2	Q2, l/100km
83,78	147,58	1761,59	0,84	3,01	0,81	143524,87	4886,55	0,03	3,41	1,00	743,26	146,04
94,25	168,21	1784,73	0,94	3,38	0,81	145417,34	4887,73	0,03	3,41	0,98	731,38	143,73
104,72	188,35	1798,61	1,04	3,76	0,81	146551,29	4889,06	0,03	3,41	0,97	721,44	141,82
115,19	207,72	1803,24	1,15	4,14	0,81	146926,73	4890,52	0,03	3,41	0,96	713,70	140,34
125,66	226,02	1798,61	1,25	4,51	0,81	146543,64	4892,13	0,03	3,41	0,95	708,39	139,35
136,14	242,97	1784,73	1,36	4,89	0,81	145402,04	4893,87	0,03	3,41	0,95	705,75	138,89
146,61	258,26	1761,59	1,46	5,26	0,81	143501,92	4895,75	0,03	3,41	0,95	706,00	139,00
157,08	271,62	1729,20	1,57	5,64	0,81	140843,29	4897,78	0,03	3,40	0,95	709,32	139,73
167,55	282,75	1687,55	1,67	6,02	0,81	137426,13	4899,94	0,04	3,40	0,97	715,92	141,12
178,02	291,36	1636,64	1,78	6,39	0,81	133250,46	4902,24	0,04	3,39	0,98	725,94	143,20
188,50	297,16	1576,48	1,88	6,77	0,81	128316,28	4904,68	0,04	3,38	1,00	739,51	145,99

3ra marcha												
Wx	Nex	Mex	V3, m/s	V3, km/h	Efic3	Pt3	Ptnec3	Apot	Ka3	Kn3	ge3	Q3, l/100km
83,78	147,58	1761,59	1,27	4,57	0,81	94180,89	4892,38	0,05	3,30	1,00	719,49	142,00
94,25	168,21	1784,73	1,43	5,14	0,81	95423,45	4895,12	0,05	3,30	0,98	708,27	139,85
104,72	188,35	1798,61	1,59	5,71	0,81	96166,66	4898,18	0,05	3,31	0,97	698,80	138,07
115,19	207,72	1803,24	1,75	6,28	0,81	96410,52	4901,56	0,05	3,31	0,96	691,32	136,69
125,66	226,02	1798,61	1,90	6,85	0,81	96155,04	4905,26	0,05	3,30	0,95	686,09	135,77
136,14	242,97	1784,73	2,06	7,43	0,81	95400,21	4909,28	0,05	3,30	0,95	683,31	135,35
146,61	258,26	1761,59	2,22	8,00	0,81	94146,03	4913,63	0,05	3,30	0,95	683,19	135,47
157,08	271,62	1729,20	2,38	8,57	0,81	92392,51	4918,29	0,05	3,29	0,95	685,91	136,17
167,55	282,75	1687,55	2,54	9,14	0,81	90139,64	4923,28	0,05	3,28	0,97	691,62	137,48
178,02	291,36	1636,64	2,70	9,71	0,81	87387,42	4928,59	0,06	3,27	0,98	700,44	139,44
188,50	297,16	1576,48	2,86	10,28	0,81	84135,85	4934,23	0,06	3,26	1,00	712,42	142,05

4ta marcha												
Wx	Nex	Mex	V4, m/s	V4, km/h	Efic4	Pt4	Ptnec4	Apot	Ka4	Kn4	ge4	Q4, l/100km
83,78	147,58	1761,59	1,72	6,20	0,81	69186,56	4901,04	0,07	3,19	1,00	694,72	137,83
94,25	168,21	1784,73	1,94	6,97	0,81	70098,96	4906,07	0,07	3,19	0,98	684,17	135,87
104,72	188,35	1798,61	2,15	7,75	0,81	70643,25	4911,70	0,07	3,19	0,97	675,15	134,23
115,19	207,72	1803,24	2,37	8,52	0,81	70819,42	4917,92	0,07	3,19	0,96	667,92	132,98
125,66	226,02	1798,61	2,58	9,30	0,81	70627,49	4924,73	0,07	3,19	0,95	662,72	132,14
136,14	242,97	1784,73	2,80	10,07	0,81	70067,43	4932,13	0,07	3,19	0,95	659,75	131,78
146,61	258,26	1761,59	3,01	10,85	0,81	69139,27	4940,13	0,07	3,18	0,95	659,21	131,92
157,08	271,62	1729,20	3,23	11,62	0,81	67842,99	4948,71	0,07	3,17	0,95	661,25	132,61
167,55	282,75	1687,55	3,44	12,40	0,81	66178,60	4957,89	0,07	3,16	0,97	665,98	133,86
178,02	291,36	1636,64	3,66	13,17	0,81	64146,09	4967,67	0,08	3,15	0,98	673,47	135,71
188,50	297,16	1576,48	3,87	13,95	0,81	61745,48	4978,03	0,08	3,13	1,00	683,72	138,16

5ta marcha												
Wx	Nex	Mex	V5, m/s	V5, km/h	Efic5	Pt5	Ptnec5	Apot	Ka5	Kn5	ge5	Q5, l/100km
83,78	147,58	1761,59	2,30	8,28	0,80	51571,02	4915,88	0,10	3,04	1,00	663,15	132,58
94,25	168,21	1784,73	2,59	9,31	0,80	52249,68	4924,86	0,09	3,05	0,98	653,38	130,87
104,72	188,35	1798,61	2,87	10,35	0,80	52652,66	4934,89	0,09	3,05	0,97	644,86	129,43
115,19	207,72	1803,24	3,16	11,38	0,80	52779,97	4945,98	0,09	3,05	0,96	637,88	128,34
125,66	226,02	1798,61	3,45	12,42	0,80	52631,61	4958,12	0,09	3,05	0,95	632,64	127,63
136,14	242,97	1784,73	3,74	13,45	0,80	52207,58	4971,32	0,10	3,04	0,95	629,36	127,35
146,61	258,26	1761,59	4,02	14,49	0,80	51507,88	4985,58	0,10	3,03	0,95	628,20	127,53
157,08	271,62	1729,20	4,31	15,52	0,80	50532,50	5000,89	0,10	3,02	0,95	629,26	128,21
167,55	282,75	1687,55	4,60	16,56	0,80	49281,45	5017,26	0,10	3,00	0,97	632,62	129,41
178,02	291,36	1636,64	4,89	17,59	0,80	47754,73	5034,69	0,11	2,98	0,98	638,28	131,13
188,50	297,16	1576,48	5,17	18,63	0,80	45952,33	5053,17	0,11	2,96	1,00	646,16	133,37

6ta marcha												
Wx	Nex	Mex	V6, m/s	V6, km/h	Efic6	Pt6	Ptnec6	Apot	Ka6	Kn6	ge6	Q6, l/100km
83,78	147,58	1761,59	3,32	11,95	0,81	35857,83	4952,52	0,14	2,79	1,00	609,49	122,29
94,25	168,21	1784,73	3,73	13,44	0,81	36327,31	4971,23	0,14	2,80	0,98	600,81	121,01
104,72	188,35	1798,61	4,15	14,94	0,81	36605,85	4992,14	0,14	2,80	0,97	592,94	119,94
115,19	207,72	1803,24	4,56	16,43	0,81	36693,44	5015,26	0,14	2,80	0,96	586,14	119,14
125,66	226,02	1798,61	4,98	17,93	0,81	36590,09	5040,57	0,14	2,80	0,95	580,62	118,64
136,14	242,97	1784,73	5,39	19,42	0,81	36295,79	5068,09	0,14	2,79	0,95	576,55	118,49
146,61	258,26	1761,59	5,81	20,91	0,81	35810,54	5097,80	0,14	2,77	0,95	574,06	118,72
157,08	271,62	1729,20	6,22	22,41	0,81	35134,35	5129,72	0,15	2,75	0,95	573,18	119,34
167,55	282,75	1687,55	6,64	23,90	0,80	34267,21	5163,84	0,15	2,72	0,97	573,90	120,36
178,02	291,36	1636,64	7,05	25,40	0,80	33209,12	5200,16	0,16	2,69	0,98	576,11	121,76
188,50	297,16	1576,48	7,47	26,89	0,80	31960,09	5238,68	0,16	2,65	1,00	579,56	123,51

7ma marcha												
Wx	Nex	Mex	V7, m/s	V7, km/h	Efic7	Pt7	Ptnec7	Apot	Ka7	Kn7	ge7	Q7, l/100km
83,78	147,58	1761,59	4,20	15,11	0,79	27780,57	4994,66	0,18	2,56	1,00	559,23	115,54
94,25	168,21	1784,73	4,72	17,00	0,79	28138,96	5024,56	0,18	2,57	0,98	551,29	114,61
104,72	188,35	1798,61	5,25	18,89	0,79	28346,32	5057,98	0,18	2,57	0,97	543,70	113,83
115,19	207,72	1803,24	5,77	20,77	0,79	28402,63	5094,92	0,18	2,57	0,96	536,72	113,26
125,66	226,02	1798,61	6,30	22,66	0,79	28307,90	5135,38	0,18	2,56	0,95	530,54	112,93
136,14	242,97	1784,73	6,82	24,55	0,79	28062,13	5179,35	0,18	2,54	0,95	525,30	112,88
146,61	258,26	1761,59	7,34	26,44	0,79	27665,32	5226,84	0,19	2,51	0,95	521,06	113,13
157,08	271,62	1729,20	7,87	28,33	0,79	27117,46	5277,85	0,19	2,48	0,95	517,79	113,68
167,55	282,75	1687,55	8,39	30,22	0,78	26418,57	5332,38	0,20	2,45	0,97	515,37	114,52
178,02	291,36	1636,64	8,92	32,11	0,78	25568,63	5390,43	0,21	2,40	0,98	513,54	115,59
188,50	297,16	1576,48	9,44	33,99	0,78	24567,65	5451,99	0,22	2,34	1,00	511,89	116,83

8va marcha												
Wx	Nex	Mex	V8, m/s	V8, km/h	Efic8	Pt8	Ptnec8	Apot	Ka8	Kn8	ge8	Q8, l/100km
83,78	147,58	1761,59	5,65	20,33	0,78	20344,12	5085,91	0,25	2,20	1,00	479,54	102,38
94,25	168,21	1784,73	6,35	22,87	0,78	20598,90	5140,05	0,25	2,20	0,98	472,00	101,91
104,72	188,35	1798,61	7,06	25,41	0,78	20741,42	5200,57	0,25	2,20	0,97	464,11	101,47
115,19	207,72	1803,24	7,76	27,95	0,78	20771,70	5267,45	0,25	2,18	0,96	456,10	101,11
125,66	226,02	1798,61	8,47	30,49	0,78	20689,73	5340,70	0,26	2,16	0,95	448,11	100,87
136,14	242,97	1784,73	9,18	33,04	0,77	20495,51	5420,32	0,26	2,13	0,95	440,23	100,74
146,61	258,26	1761,59	9,88	35,58	0,77	20189,04	5506,31	0,27	2,09	0,95	432,40	100,72
157,08	271,62	1729,20	10,59	38,12	0,77	19770,32	5598,67	0,28	2,04	0,95	424,49	100,78
167,55	282,75	1687,55	11,29	40,66	0,77	19239,35	5697,40	0,30	1,98	0,97	416,24	100,84
178,02	291,36	1636,64	12,00	43,20	0,77	18596,13	5802,49	0,31	1,90	0,98	407,19	100,81
188,50	297,16	1576,48	12,71	45,74	0,76	17840,66	5913,96	0,33	1,81	1,00	396,75	100,52

9na marcha												
Wx	Nex	Mex	V9, m/s	V9, km/h	Efic9	Pt9	Ptnec9	Apot	Ka9	Kn9	ge9	Q9, l/100km
83,78	147,58	1761,59	7,68	27,65	0,80	15311,30	5259,08	0,34	1,76	1,00	384,31	82,89
94,25	168,21	1784,73	8,64	31,10	0,80	15491,65	5359,23	0,35	1,75	0,98	375,58	82,66
104,72	188,35	1798,61	9,60	34,56	0,79	15585,80	5471,15	0,35	1,73	0,97	365,68	82,30
115,19	207,72	1803,24	10,56	38,02	0,79	15593,74	5594,85	0,36	1,70	0,96	354,81	81,83
125,66	226,02	1798,61	11,52	41,47	0,79	15515,49	5730,33	0,37	1,65	0,95	343,08	81,24
136,14	242,97	1784,73	12,48	44,93	0,79	15351,04	5877,60	0,38	1,60	0,95	330,51	80,51
146,61	258,26	1761,59	13,44	48,38	0,79	15100,40	6036,65	0,40	1,53	0,95	317,01	79,58
157,08	271,62	1729,20	14,40	51,84	0,78	14763,55	6207,48	0,42	1,45	0,95	302,41	78,38
167,55	282,75	1687,55	15,36	55,30	0,78	14340,51	6390,09	0,45	1,36	0,97	286,50	76,80
178,02	291,36	1636,64	16,32	58,75	0,77	13831,26	6584,48	0,48	1,26	0,98	269,00	74,71
188,50	297,16	1576,48	17,28	62,21	0,77	13235,82	6790,65	0,51	1,14	1,00	249,76	72,01

10ma marcha												
Wx	Nex	Mex	V10, m/s	V10, km/h	Efic10	Pt10	Ptnec10	Apot	Ka10	Kn10	ge10	Q10, l/100km
83,78	147,58	1761,59	10,21	36,77	0,74	10623,77	5548,96	0,52	1,12	1,00	243,33	60,01
94,25	168,21	1784,73	11,49	41,37	0,73	10732,16	5726,10	0,53	1,08	0,98	232,56	59,36
104,72	188,35	1798,61	12,77	45,97	0,73	10778,50	5924,08	0,55	1,04	0,97	220,29	58,37
115,19	207,72	1803,24	14,04	50,56	0,73	10762,77	6142,90	0,57	0,99	0,96	206,98	57,10
125,66	226,02	1798,61	15,32	55,16	0,72	10684,99	6382,56	0,60	0,93	0,95	193,15	55,62
136,14	242,97	1784,73	16,60	59,75	0,72	10545,16	6643,05	0,63	0,87	0,95	179,49	54,09
146,61	258,26	1761,59	17,88	64,35	0,72	10343,26	6924,39	0,67	0,81	0,95	167,02	52,79
157,08	271,62	1729,20	19,15	68,95	0,71	10079,31	7226,57	0,72	0,76	0,95	157,40	52,30
167,55	282,75	1687,55	20,43	73,54	0,70	9753,30	7549,59	0,77	0,73	0,97	153,47	53,73
178,02	291,36	1636,64	21,71	78,14	0,70	9365,23	7893,45	0,84	0,75	0,98	160,28	59,26
188,50	297,16	1576,48	22,98	82,74	0,69	8915,10	8258,14	0,93	0,86	1,00	186,98	73,19

Tabla 2 Determinación de la característica tractiva y del consumo recorrido en el vehículo modificado en cada marcha.

1ra marcha												
Wx	Nex	Mex	V1, m/s	V1, km/h	Efic1	Pt1	Ptnec1	Apot	Ka1	Kn1	ge1	Q1, l/100km
125,66	168,27	1339,01	1,04	3,75	0,81	131215,10	4889,02	0,04	3,39	0,97	746,74	146,89
136,14	185,92	1365,67	1,13	4,06	0,81	133841,40	4890,22	0,04	3,39	0,96	740,50	145,68
146,61	202,56	1381,67	1,22	4,37	0,81	135415,91	4891,52	0,04	3,40	0,95	735,62	144,75
157,08	217,87	1387,00	1,30	4,69	0,81	135938,63	4892,92	0,04	3,40	0,95	732,27	144,13
167,55	231,50	1381,67	1,39	5,00	0,81	135409,55	4894,41	0,04	3,40	0,95	730,59	143,85
178,02	243,12	1365,67	1,48	5,31	0,81	133828,69	4896,00	0,04	3,39	0,95	730,71	143,94
188,50	252,40	1339,01	1,56	5,62	0,81	131196,03	4897,69	0,04	3,39	0,95	732,72	144,41
198,97	258,99	1301,69	1,65	5,94	0,81	127511,58	4899,47	0,04	3,38	0,96	736,69	145,27
209,44	262,57	1253,70	1,74	6,25	0,81	122775,33	4901,35	0,04	3,37	0,97	742,64	146,54
219,91	262,80	1195,05	1,82	6,56	0,81	116987,30	4903,32	0,04	3,36	0,98	750,54	148,22
230,38	259,35	1125,73	1,91	6,87	0,81	110147,47	4905,39	0,04	3,34	1,00	760,29	150,28

2da marcha												
Wx	Nex	Mex	V2, m/s	V2, km/h	Efic2	Pt2	Ptnec2	Apot	Ka2	Kn2	ge2	Q2, l/100km
125,66	168,27	1339,01	1,25	4,51	0,81	108877,58	4892,13	0,04	3,34	0,97	736,43	145,15
136,14	185,92	1365,67	1,36	4,89	0,81	111058,65	4893,87	0,04	3,35	0,96	730,47	144,01
146,61	202,56	1381,67	1,46	5,26	0,81	112365,76	4895,75	0,04	3,35	0,95	725,77	143,13
157,08	217,87	1387,00	1,57	5,64	0,81	112798,91	4897,78	0,04	3,35	0,95	722,49	142,55
167,55	231,50	1381,67	1,67	6,02	0,81	112358,11	4899,94	0,04	3,35	0,95	720,79	142,28
178,02	243,12	1365,67	1,78	6,39	0,81	111043,35	4902,24	0,04	3,35	0,95	720,77	142,36
188,50	252,40	1339,01	1,88	6,77	0,81	108854,64	4904,68	0,05	3,34	0,95	722,53	142,81
198,97	258,99	1301,69	1,98	7,15	0,81	105791,96	4907,26	0,05	3,33	0,96	726,12	143,63
209,44	262,57	1253,70	2,09	7,52	0,81	101855,34	4909,98	0,05	3,32	0,97	731,53	144,84
219,91	262,80	1195,05	2,19	7,90	0,81	97044,75	4912,84	0,05	3,31	0,98	738,72	146,41
230,38	259,35	1125,73	2,30	8,27	0,81	91360,21	4915,84	0,05	3,29	1,00	747,50	148,33

3ra marcha												
Wx	Nex	Mex	V3, m/s	V3, km/h	Efic3	Pt3	Ptnec3	Apot	Ka3	Kn3	ge3	Q3, l/100km
125,66	168,27	1339,01	1,90	6,85	0,81	71358,73	4905,26	0,07	3,20	0,97	704,78	139,91
136,14	185,92	1365,67	2,06	7,43	0,81	72791,28	4909,28	0,07	3,21	0,96	699,68	138,99
146,61	202,56	1381,67	2,22	8,00	0,81	73648,48	4913,63	0,07	3,21	0,95	695,49	138,27
157,08	217,87	1387,00	2,38	8,57	0,81	73930,34	4918,29	0,07	3,21	0,95	692,41	137,79
167,55	231,50	1381,67	2,54	9,14	0,81	73636,86	4923,28	0,07	3,21	0,95	690,58	137,58
178,02	243,12	1365,67	2,70	9,71	0,81	72768,04	4928,59	0,07	3,20	0,95	690,12	137,67
188,50	252,40	1339,01	2,86	10,28	0,81	71323,87	4934,23	0,07	3,20	0,95	691,07	138,06
198,97	258,99	1301,69	3,01	10,85	0,81	69304,36	4940,18	0,07	3,18	0,96	693,45	138,77
209,44	262,57	1253,70	3,17	11,42	0,81	66709,51	4946,46	0,07	3,17	0,97	697,18	139,78
219,91	262,80	1195,05	3,33	12,00	0,81	63539,32	4953,06	0,08	3,14	0,98	702,10	141,06
230,38	259,35	1125,73	3,49	12,57	0,80	59793,78	4959,98	0,08	3,11	1,00	707,88	142,56

4ta marcha												
Wx	Nex	Mex	V4, m/s	V4, km/h	Efic4	Pt4	Ptnec4	Apot	Ka4	Kn4	ge4	Q4, l/100km
125,66	168,27	1339,01	2,58	9,30	0,80	52347,90	4924,73	0,09	3,05	0,97	671,73	134,53
136,14	185,92	1365,67	2,80	10,07	0,80	53400,36	4932,13	0,09	3,06	0,96	667,44	133,85
146,61	202,56	1381,67	3,01	10,85	0,80	54028,69	4940,13	0,09	3,06	0,95	663,72	133,31
157,08	217,87	1387,00	3,23	11,62	0,80	54232,87	4948,71	0,09	3,06	0,95	660,78	132,96
167,55	231,50	1381,67	3,44	12,40	0,80	54012,92	4957,89	0,09	3,06	0,95	658,77	132,83
178,02	243,12	1365,67	3,66	13,17	0,80	53368,84	4967,67	0,09	3,05	0,95	657,76	132,94
188,50	252,40	1339,01	3,87	13,95	0,80	52300,61	4978,03	0,10	3,04	0,95	657,80	133,29
198,97	258,99	1301,69	4,09	14,72	0,80	50808,25	4988,99	0,10	3,02	0,96	658,83	133,88
209,44	262,57	1253,70	4,30	15,50	0,80	48891,76	5000,54	0,10	3,00	0,97	660,71	134,69
219,91	262,80	1195,05	4,52	16,27	0,80	46551,13	5012,68	0,11	2,97	0,98	663,14	135,67
230,38	259,35	1125,73	4,74	17,05	0,80	43786,36	5025,41	0,11	2,93	1,00	665,64	136,73

5ta marcha												
Wx	Nex	Mex	V5, m/s	V5, km/h	Efic5	Pt5	Ptnec5	Apot	Ka5	Kn5	ge5	Q5, l/100km
125,66	168,27	1339,01	3,45	12,42	0,80	38942,43	4958,12	0,13	2,86	0,97	629,38	127,75
136,14	185,92	1365,67	3,74	13,45	0,80	39725,97	4971,32	0,13	2,87	0,96	626,02	127,38
146,61	202,56	1381,67	4,02	14,49	0,80	40191,88	4985,58	0,12	2,87	0,95	622,78	127,09
157,08	217,87	1387,00	4,31	15,52	0,80	40340,17	5000,89	0,12	2,87	0,95	619,90	126,91
167,55	231,50	1381,67	4,60	16,56	0,80	40170,84	5017,26	0,12	2,87	0,95	617,50	126,88
178,02	243,12	1365,67	4,89	17,59	0,80	39683,87	5034,69	0,13	2,86	0,95	615,67	127,01
188,50	252,40	1339,01	5,17	18,63	0,80	38879,28	5053,17	0,13	2,84	0,95	614,38	127,31
198,97	258,99	1301,69	5,46	19,66	0,80	37757,06	5072,71	0,13	2,82	0,96	613,51	127,75
209,44	262,57	1253,70	5,75	20,69	0,80	36317,22	5093,30	0,14	2,78	0,97	612,82	128,29
219,91	262,80	1195,05	6,04	21,73	0,79	34559,74	5114,95	0,15	2,74	0,98	611,86	128,85
230,38	259,35	1125,73	6,32	22,76	0,79	32484,65	5137,66	0,16	2,68	1,00	609,92	129,29

6ta marcha												
Wx	Nex	Mex	V6, m/s	V6, km/h	Efic6	Pt6	Ptnec6	Apot	Ka6	Kn6	ge6	Q6, l/100km
125,66	168,27	1339,01	4,98	17,93	0,80	27108,18	5040,57	0,19	2,53	0,97	557,80	114,53
136,14	185,92	1365,67	5,39	19,42	0,80	27650,31	5068,09	0,18	2,55	0,96	555,53	114,68
146,61	202,56	1381,67	5,81	20,91	0,80	27972,44	5097,80	0,18	2,55	0,95	552,68	114,77
157,08	217,87	1387,00	6,22	22,41	0,80	28074,56	5129,72	0,18	2,55	0,95	549,48	114,84
167,55	231,50	1381,67	6,64	23,90	0,80	27956,68	5163,84	0,18	2,54	0,95	546,07	114,93
178,02	243,12	1365,67	7,05	25,40	0,80	27618,79	5200,16	0,19	2,52	0,95	542,45	115,03
188,50	252,40	1339,01	7,47	26,89	0,80	27060,89	5238,68	0,19	2,49	0,95	538,54	115,13
198,97	258,99	1301,69	7,88	28,38	0,80	26282,98	5279,40	0,20	2,45	0,96	534,09	115,17
209,44	262,57	1253,70	8,30	29,88	0,80	25285,07	5322,33	0,21	2,40	0,97	528,71	115,07
219,91	262,80	1195,05	8,71	31,37	0,80	24067,16	5367,45	0,22	2,34	0,98	521,73	114,68
230,38	259,35	1125,73	9,13	32,87	0,80	22629,23	5414,78	0,24	2,25	1,00	512,15	113,77

7ma marcha												
Wx	Nex	Mex	V7, m/s	V7, km/h	Efic7	Pt7	Ptnec7	Apot	Ka7	Kn7	ge7	Q7, l/100km
125,66	168,27	1339,01	6,30	22,66	0,78	20807,54	5135,38	0,25	2,21	0,97	488,09	105,23
136,14	185,92	1365,67	6,82	24,55	0,78	21223,41	5179,35	0,24	2,23	0,96	486,41	105,75
146,61	202,56	1381,67	7,34	26,44	0,78	21465,24	5226,84	0,24	2,23	0,95	483,43	106,10
157,08	217,87	1387,00	7,87	28,33	0,78	21533,05	5277,85	0,25	2,22	0,95	479,38	106,31
167,55	231,50	1381,67	8,39	30,22	0,78	21426,82	5332,38	0,25	2,20	0,95	474,36	106,40
178,02	243,12	1365,67	8,92	32,11	0,78	21146,57	5390,43	0,25	2,17	0,95	468,34	106,36
188,50	252,40	1339,01	9,44	33,99	0,77	20692,29	5451,99	0,26	2,13	0,95	461,12	106,13
198,97	258,99	1301,69	9,97	35,88	0,77	20063,98	5517,07	0,27	2,08	0,96	452,36	105,62
209,44	262,57	1253,70	10,49	37,77	0,77	19261,64	5585,67	0,29	2,00	0,97	441,47	104,70
219,91	262,80	1195,05	11,02	39,66	0,77	18285,27	5657,79	0,31	1,91	0,98	427,58	103,14
230,38	259,35	1125,73	11,54	41,55	0,76	17134,88	5733,43	0,33	1,80	1,00	409,46	100,61

8va marcha												
Wx	Nex	Mex	V8, m/s	V8, km/h	Efic8	Pt8	Ptnec8	Apot	Ka8	Kn8	ge8	Q8, l/100km
125,66	168,27	1339,01	8,47	30,49	0,76	15115,69	5340,70	0,35	1,72	0,97	379,02	86,93
136,14	185,92	1365,67	9,18	33,04	0,76	15413,18	5420,32	0,35	1,73	0,96	376,90	87,76
146,61	202,56	1381,67	9,88	35,58	0,76	15581,33	5506,31	0,35	1,72	0,95	372,54	88,19
157,08	217,87	1387,00	10,59	38,12	0,76	15620,15	5598,67	0,36	1,70	0,95	366,15	88,25
167,55	231,50	1381,67	11,29	40,66	0,76	15529,64	5697,40	0,37	1,66	0,95	357,79	87,93
178,02	243,12	1365,67	12,00	43,20	0,76	15309,79	5802,49	0,38	1,61	0,95	347,38	87,17
188,50	252,40	1339,01	12,71	45,74	0,75	14960,61	5913,96	0,40	1,55	0,95	334,70	85,89
198,97	258,99	1301,69	13,41	48,28	0,75	14482,10	6031,80	0,42	1,47	0,96	319,39	83,95
209,44	262,57	1253,70	14,12	50,82	0,75	13874,26	6156,01	0,44	1,37	0,97	300,96	81,16
219,91	262,80	1195,05	14,82	53,37	0,74	13137,08	6286,59	0,48	1,25	0,98	278,91	77,33
230,38	259,35	1125,73	15,53	55,91	0,73	12270,57	6423,53	0,52	1,11	1,00	252,92	72,26

9na marcha												
Wx	Nex	Mex	V9, m/s	V9, km/h	Efic9	Pt9	Ptnec9	Apot	Ka9	Kn9	ge9	Q9, l/100km
125,66	168,27	1339,01	11,52	41,47	0,77	11235,10	5730,33	0,51	1,15	0,97	253,71	61,77
136,14	185,92	1365,67	12,48	44,93	0,77	11448,24	5877,60	0,51	1,14	0,96	249,11	62,26
146,61	202,56	1381,67	13,44	48,38	0,77	11562,06	6036,65	0,52	1,12	0,95	241,86	62,20
157,08	217,87	1387,00	14,40	51,84	0,77	11576,57	6207,48	0,54	1,08	0,95	232,29	61,58
167,55	231,50	1381,67	15,36	55,30	0,76	11491,76	6390,09	0,56	1,03	0,95	220,68	60,44
178,02	243,12	1365,67	16,32	58,75	0,76	11307,64	6584,48	0,58	0,96	0,95	207,43	58,80
188,50	252,40	1339,01	17,28	62,21	0,75	11024,19	6790,65	0,62	0,89	0,95	193,14	56,79
198,97	258,99	1301,69	18,24	65,66	0,75	10641,43	7008,60	0,66	0,82	0,96	178,94	54,68
209,44	262,57	1253,70	19,20	69,12	0,74	10159,35	7238,34	0,71	0,76	0,97	167,15	53,22
219,91	262,80	1195,05	20,16	72,58	0,73	9577,96	7479,85	0,78	0,73	0,98	162,59	54,09
230,38	259,35	1125,73	21,12	76,03	0,72	8897,25	7733,15	0,87	0,77	1,00	175,60	61,25

10ma marcha												
Wx	Nex	Mex	V10, m/s	V10, km/h	Efic10	Pt10	Ptnec10	Apot	Ka10	Kn10	ge10	Q10, l/100km
125,66	168,27	1339,01	15,32	55,16	0,69	7603,37	6382,56	0,84	0,75	0,97	164,48	49,55
136,14	185,92	1365,67	16,60	59,75	0,69	7735,38	6643,05	0,86	0,76	0,96	166,31	52,28
146,61	202,56	1381,67	17,88	64,35	0,69	7795,88	6924,39	0,89	0,80	0,95	172,27	56,66
157,08	217,87	1387,00	19,15	68,95	0,68	7784,88	7226,57	0,93	0,86	0,95	185,19	63,91
167,55	231,50	1381,67	20,43	73,54	0,68	7702,38	7549,59	0,98	0,97	0,95	209,67	76,11
178,02	243,12	1365,67	21,71	78,14	0,67	7548,37	7893,45	1,05	1,18	0,95	253,21	96,92
188,50	252,40	1339,01	22,98	82,74	0,67	7322,86	8258,14	1,13	1,52	0,95	328,42	132,92
198,97	258,99	1301,69	24,26	87,33	0,66	7025,86	8643,68	1,23	2,10	0,96	457,25	196,27
209,44	262,57	1253,70	25,54	91,93	0,65	6657,35	9050,06	1,36	3,09	0,97	679,48	310,39
219,91	262,80	1195,05	26,81	96,53	0,63	6217,33	9477,28	1,52	4,79	0,98	1071,07	522,95
230,38	259,35	1125,73	28,09	101,12	0,62	5705,82	9925,34	1,74	7,86	1,00	1786,66	937,75

Tabla 3. Cálculos preliminares para la determinación del solape entre marchas en los vehículos original y modificado.

Vehículo original:

Vmáx1-Vmin2	Vmáx2-Vmin3	Vmáx3-Vmin4	Vmáx4-Vmin5	Vmáx5-Vmin6	Vmáx6-Vmin7	Vmáx7-Vmin8	Vmáx8-Vmin9	Vmáx9-Vmin10		SUMA
0.73	0.61	1.13	1.58	1.85	3.27	3.80	5.03	7.07		25.06
Vmáx-Vmín1	Vmáx-Vmín2	Vmáx-Vmín3	Vmáx-Vmín4	Vmáx-Vmín5	Vmáx-Vmín6	Vmáx-Vmín7	Vmáx-Vmín8	Vmáx-Vmín9	Vmáx-Vmín10	SUMA
0.87	1.04	1.59	2.15	2.87	4.15	5.25	7.06	9.60	12.77	47.35

Vehículo modificado:

Vmáx1-Vmin2	Vmáx2-Vmin3	Vmáx3-Vmin4	Vmáx4-Vmin5	Vmáx5-Vmin6	Vmáx6-Vmin7	Vmáx7-Vmin8	Vmáx8-Vmin9	Vmáx9-Vmin10		SUMA
0.66	0.39	0.91	1.29	1.34	2.83	3.07	4.01	5.80		20.30
Vmáx-Vmín1	Vmáx-Vmín2	Vmáx-Vmín3	Vmáx-Vmín4	Vmáx-Vmín5	Vmáx-Vmín6	Vmáx-Vmín7	Vmáx-Vmín8	Vmáx-Vmín9	Vmáx-Vmín10	SUMA
0.87	1.04	1.59	2.15	2.87	4.15	5.25	7.06	9.60	12.77	47.35

Tabla 4. Cálculos preliminares para la determinación de la selectividad de marcha.

Vehículo original:

Ptmax1-PtVmax10	168090.10									
(PtVmax i-1)-Ptmax i	2da	3ra	4ta	5ta	6ta	7ma	8va	9na	10ma	SUMA
	7691.07	31905.76	13316.43	8965.50	9258.89	3557.46	3795.94	2246.91	2473.05	83211.02

Vehículo modificado:

Ptmax1-PtVmax10	130232.81									
(PtVmax i-1)-Ptmax i	2da	3ra	4ta	5ta	6ta	7ma	8va	9na	10ma	SUMA
	-2651.44	17429.87	5560.91	3446.18	4410.08	1096.19	1514.73	693.99	1112.37	32612.88

Tabla 5. Cálculos preliminares para la determinación del coeficiente de aprovechamiento del área ideal.

Vehículo original:

Área ideal	120910.7717									
Área 1ra m	Área 2da m	Área 3ra m	Área 4ta m	Área 5ta m	Área 6ta m	Área 7ma m	Área 8va m	Área 9na m	Área 10ma m	SUMA
	23409.26	18935.16	15625.02	15632.12	10782.22	8592.26	6845.15	4645.28	2825.16	107291.63

Vehículo modificado:

Área ideal	116944.873									
Área 1ra m	Área 2da m	Área 3ra m	Área 4ta m	Área 5ta m	Área 6ta m	Área 7ma m	Área 8va m	Área 9na m	Área 10ma m	SUMA
	20856.23	16581.03	13215.26	13257	9658.21	7452.13	6251.14	4123.16	2258.23	93652.39