

Sistema interactivo para el cálculo y selección del tren motriz en unidades de transporte público (SISUT)

Interactive system to calculate and select the drive train for public transport units (SISUT)

J. C. Serres A*, J. Fco. Valdivia P
Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica,
Departamento de Diseño. Caracas, Venezuela.
e-mail: jcserrres@mipunto.com

Resumen

Al realizar la selección del tren motriz de un vehículo de transporte público que cumpla los requerimientos mínimos de una ruta con cierta pendiente, se han de calcular tantas variables dentro de cada combinación que el tiempo a invertir en los cálculos es considerable. Es por esta razón, que surge la idea de crear un sistema interactivo que facilite los cálculos, y nos indique la selección del tren motriz más adecuado. Se utiliza un programa bajo ambiente Windows que maneja tres bases de datos (autobuses, microbuses y ruta), las cuales contienen los parámetros mínimos necesarios para realizar la selección. Con esto se obtiene una unidad apta para la ruta, economizando tiempo en los cálculos y en la selección posterior. Al mismo tiempo, se obtiene la relación del diferencial, la primera relación de la transmisión, y la potencia del motor a utilizar. Esta selección permite una mayor duración de la unidad respecto al tren motriz, siempre y cuando se le realice el mantenimiento adecuado y a tiempo.

Palabras Clave: Tren Motriz, Transporte Público, Sistema Interactivo, Selección, Transmisión.

Abstract

When carrying out the selection of the drive train of a public transport vehicle that fulfills the minimum requirements of a route with certain slope, they are to calculate so many variables inside each combination, taking considerable time in the calculations. For that reason the idea arises of creating an interactive system that facilitates the calculations to indicate the selection of the more appropriate drive train. For this, we used a Windows ambient program that manages three databases (buses, minibuses and route), which contain the minimum necessary parameters to carry out the selection. With this, we obtain a suitable unit for the route, economizing time in calculations and also for the posterior selection. At the same time, it's obtained the relationship of the differential, the first relationship of the transmission, and the power required for the motor. This selection allows a bigger duration of the unit regarding the drive train, when is carried out the appropriate on time maintenance.

Keywords: Motriz Train, Public Transport, Interactive System, Selection, Transmission.

1 Introducción

El buen estado del parque automotor de transporte público en Venezuela se deteriora día a día, siendo la mayor causa de esto, la mala selección del conjunto Motor-Transmisión-Diferencial, llamado más acertadamente Tren Motriz.

Actualmente en Venezuela, no existe criterio técnico de selección por parte del comprador de la unidad, él solo se limita a adquirir el vehículo, ya sea por recomendación,

aparición, u otro motivo, sin tomar en cuenta todos los parámetros técnicos que influyen dentro de la selección de la unidad.

Es debido a esta selección no adecuada, que la unidad de transporte público se deteriora con gran rapidez, teniendo una vida útil menor de lo estimado y afectando directamente tanto en la prestación del servicio, como en el cumplimiento del pago del financiamiento de la unidad; dado que dichas unidades, al ser su costo de tal cuantía, su adquisición se realiza por medio del financiamiento.

Para evitar todos estos inconvenientes, es necesario que la unidad de transporte público sea seleccionada de acuerdo a ciertos parámetros, tales como: pendiente de la ruta, calidad de la superficie de rodamiento, área frontal proyectada de la unidad, etc.). Con todos estos parámetros influyendo en la selección, se hace dificultoso y poco práctico para llegar a una selección óptima en la ruta que se desee. Debido a esto, se diseñó y desarrolló un programa de computación (bajo ambiente Windows), que facilita los cálculos necesarios para emprender dicha selección, dejándole al usuario, la tarea de suministrar unos pocos datos necesarios para iniciar la selección (Tipo de unidad: autobús, microbús;.....)

Dicho programa, se concibe como un sistema sencillo de manejar, que permita una fácil interpretación de los resultados por parte del usuario, proporcionando asistencia en la selección técnica vehicular para unidades de transporte público. Esta herramienta está diseñada de tal forma que el usuario pueda actualizar de manera continua la base de datos.

Todo esto conllevará a un ahorro de combustible, menor desgaste del tren motriz, mayor vida útil de la unidad, mayor utilidad y beneficio para la empresa que utiliza dicho sistema; entre otros.

2 Procedimiento Y formulación

Lo necesario para iniciar este estudio, son los datos que el fabricante de la unidad de transporte debe suministrar en su ficha técnica. Tales como:

- Curvas características del motor, ó el torque máximo y sus rpm, y la potencia máxima y sus rpm.
- Las dimensiones de la unidad en cuanto a alto máximo y ancho máximo.
- El peso Bruto Vehicular.
- La velocidad máxima del vehículo en la última relación de la transmisión.
- La velocidad máxima del vehículo en la primera relación (si está disponible).
- El tipo de neumático y por ende su radio; tomándose el estándar **10.00 22R**.
- Las posibles relaciones del diferencial.

Las posibles relaciones de la transmisión.

Otro de los datos necesarios en este caso son los siguientes:

- El estado de la superficie por donde el vehículo se desplazará.
- El ángulo máximo de la ruta a seleccionar.

Una vez con estos datos en mano, es necesario crear tres bases de datos (Autobuses, Microbuses y Rutas). Estas fueron creadas en formato de Microsoft Access. Luego de lo cual se desarrolló el software bajo ambiente Windows, en lenguaje Visual Basic 6.0.

Hay ciertos parámetros necesarios para los cálculos, los cuales están contenidos en las fórmulas que a continua-

ción se muestran, y que serán utilizadas dentro del cuerpo principal del programa.

Para visualizar lo que el cuerpo principal del programa realiza, aquí detallaremos su funcionamiento con un breve ejemplo.

- Datos de la unidad seleccionada:

AUTOBÚS Mercedes Benz OH-1625L

$G = 16000 \text{ Kg}$ $b = 2,6 \text{ m}$ $h = 3,9 \text{ m}$

$V_{V1} = 99 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$ $V_{V2} = 91 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$ $V_{V3} = 85 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$

Motor MB OM 449LA

$M_M = 112 \text{ Kgf} * m$ $n_M = 1100 \text{ r.p.m.}$

$N_V = 250 \text{ CV}$ $n_{N_V} = 1900 \text{ r.p.m.}$

Caja ZF S 6-90/6,98

$i_{c1} = 6,98$ $i_{c2} = 4,06$ $i_{c3} = 2,74$

$i_{c4} = 1,89$ $i_{c5} = 1,31$ $i_{c6} = 1$

Diferenciales MB HH 4/07 DL-10

$i_{01} = 4,75$ $i_{02} = 4,3$ $i_{03} = 4,75$

Neumáticos estandar 10.00 22R

$r_d = 0,55 \text{ m}$

- Datos de la ruta:

Caracas - La Guaira. $\phi = 19^\circ$

Ahora, vamos a realizar los cálculos para la primera combinación que contenga el diferencial N°1:

Cálculo de la Potencia del motor a Torque máximo:

$$N_M = \frac{M_M \cdot n_M}{716,2} \quad (1) \quad \boxed{N_M = 172,019 \text{ CV}}$$

- Cálculo de la velocidad máxima en la primera relación:

$$V_{1\max} = \frac{V_V}{\#R} \quad (2) \quad \boxed{V_{1\max} = 16,5 \frac{\text{Km}}{\text{h}}}$$

Ahora, comparamos esta velocidad obtenida por cálculo con la que el fabricante nos indica para la primera relación (ó en su defecto la velocidad baja promedio con alto torque, 10 Km/h), y de estas dos tomamos la menor. La mayor de las dos será usada para el cálculo de f .

- Cálculo de la relación del diferencial

$$i_0 = 0,377 \cdot \frac{r_d \cdot n_N}{V_V \cdot i_{cV}} \quad (3) \quad \boxed{i_0 = 3,9794}$$

- Cálculo del ϕ_{\max} de la ruta:

$$\phi_{\max} = f \cdot \text{Cos}(\phi) + \text{Sen}(\phi) \quad (4)$$

$$f = f_0 \cdot \left(1 + k \cdot V_{1\max}^2\right) \quad (5)$$

$f_0 = 0,01$, para un Vehículo tipo “Camión” desplazándose en asfalto en buen estado.

$$f = 0,01005 \quad \varphi_{\max} = 0,335$$

- Cálculo de la primera relación de la transmisión:

$$i_{c1} = \frac{G \cdot \varphi_{\max} \cdot r_d}{M_M \cdot i_0 \cdot \eta_{\text{mec}}} \quad (6)$$

- Cálculo de la velocidad de arranque:

$$V_{\text{arranque}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{M_M \cdot i_{c1} \cdot i_0 \cdot \eta_{\text{mec}}}{r_d}\right) - G \cdot \left(\text{Sen}(\phi) + f_0 \cdot \text{Cos}(\phi)\right)}{\left(G \cdot f_0 \cdot k \cdot \text{Cos}(\phi) + 0,0048 \cdot C_x \cdot A\right)}} \quad (7)$$

$A = (0,8 - 0,9)h \cdot b$, tomado como el multiplicador de ajuste 0,87.

$$\text{Por lo tanto } A = 8,822m^2 \quad V_{\text{arranque}} = 7,01 \frac{Km}{h}$$

- Cálculo de la potencia mecánica inherente a la ruta y el vehículo:

- Potencia a la rodadura:

$$N_R = \frac{G \cdot f \cdot \text{Cos}(\phi) \cdot V_{1\max}}{270} \quad (8)$$

$$N_R = 5,63 \text{ CV}$$

- Potencia a la pendiente:

$$N_P = \frac{G \cdot \text{Sen}(\phi) \cdot V_{\text{arranque}}}{270} \quad (9)$$

$$N_P = 135,2434 \text{ CV}$$

- Potencia aerodinámica:

$$N_a = \frac{0,0048 \cdot C_x \cdot A \cdot V_{1\max} \cdot V_{1\max}^2}{270} \quad (10)$$

El valor de C_x , viene dado para un vehículo tipo “Autobús”, tomando el valor que a continuación se señala.

$$C_x = 0,75 ; V_{1\max} \left[\frac{Km}{h} \right] ; V_{1\max}^2 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$N_a = 0,0091 \text{ CV}$$

$\eta_{\text{mec}} = 0,88$, para vehículos tipo “Camiones y Autobuses” con marcha en la primera relación.

$$i_{c1} = 7,52$$

$$i_{c1\text{Nuevo}} = 0,95 \cdot i_{c1}$$

$$i_{c1\text{Nuevo}} = 7,14$$

Ahora, sumamos todas estas potencias y obtenemos la llamada potencia calculada. Dividiendo ésta, entre la eficiencia mecánica del tren motriz obtendremos la potencia mecánica.

$$N_{\text{calc}} = 140,8825 \text{ CV}$$

$$N_{\text{mec}} = 160,094 \text{ CV}$$

Ahora, $N_{\text{req}} = N_{\text{mec}} = 160,094 \text{ CV}$.

Esto mismo se hace con otras combinaciones de tren motriz para diferentes unidades, y se procede a calcular el Delta Potencia de la siguiente manera:

$$\Delta N = N_M - N_{\text{req}}$$

$$\Delta N = (172,019 - 160,094) \text{ CV}$$

$$\Delta N = 11,925 \text{ CV}$$

Mientras más positiva sea esta diferencia, más apto para la ruta es el vehículo en cuestión, con su respectiva combinación de tren motriz.

A esta potencia requerida la comparamos con la potencia a torque máximo de la unidad, y si $N_{\text{Req}} < N_M$, entonces este tren motriz sirve para la ruta. Siempre y cuando se cumpla lo siguiente:

El delta de potencia debe ser positivo.

El i_{c1} calculado debe ser menor o igual que el i_{c1} del fabricante

El i_0 calculado debe ser menor o igual que el i_0 del fabricante

3 Conclusiones

Se observa lo importante que es, para la vida de la unidad de transporte, la buena selección del tren motriz acorde con los requerimientos de la ruta.

El resultado obtenido al seleccionar el tren motriz con este software, no es del todo satisfactorio si no es acompañado por un plan de mantenimiento tanto preventivo como correctivo en los lapsos establecidos por los fabricantes.

Se comprobó (mediante el análisis de dos líneas de autobuses que cubren la misma ruta), que las paradas no planificadas de la unidad de transporte perjudica el buen desempeño de todo el tren motriz, disminuyendo su eficiencia y por ende afectando negativamente la durabilidad del conjunto.

El uso de este software en el campo del transporte público, facilita el cumplimiento del pago del financiamiento y la disminución de las unidades de transporte público circulantes en mal estado, ya que, al estar la unidad más tiempo en servicio, esta puede recuperar la inversión de manera más rápida, a la vez que se mantiene mucho más tiempo en buen estado.

4 Referencias bibliográficas

(3), (9), (10) GENERAL MOTORS INSTITUTE, "Automotive Design Fundamentals: Vehicle Performance & Economy Prediction".

(8) HELDT, P. M., "The automotive Chassis". 3ra Edición, Chilton Company. Estados Unidos, 1952. 764 págs.

(1) OBERT, Edward F., "Motores de Combustión Interna: Análisis y Aplicaciones".

(2), (4), (5), (6), (7) PRZYBYLSKI, Jozef., "Teoría de Vehículos Automotores"

5 BIBLIOGRAFÍA

MARKS. 1995. "Manual del Ingeniero Mecánico". 9^{ma} Edición, Mc Graw Hill.

Enciclopedia. 1985. "Ciencia y Técnica". Salvat, España, Tomo II.

OBERT, Edward F. 1974. "Motores de Combustión Interna: Análisis y aplicaciones". 2^{da} Edición, Compañía Editorial Continental S.A. de C.V.. México,. 764 págs.

HELDT, P. M. 1952. "The automotive Chassis". 3ra Edición, Chilton Company. Estados Unidos. 764 págs.

VARELA R. 1975. Wenseslao, "Manual del Automovil". 6^{ta} Edición, Editorial Mundo Técnico S.R.L.. Argentina. 455 págs.

PRZYBYLSKI, Jozef. 1983. "Teoría de Vehículos Automotores". Editorial de La Universidad del Zulia. 195 págs.

GENERAL MOTORS INSTITUTE 1979-1980. "Automotive Design Fundamentals: Vehicle Performance & Economy Prediction". Curse A-300.. 125 págs.

COVENIN 657-74. 1974. "Cauchos: Definiciones". Caracas, Fondonorma. 7 págs.

COVENIN 911-87. 1987, "Unidades de Transporte Escolar: Clasificación y Tipología". Caracas, Fondonorma, 12 págs.

COVENIN 2741-90. 1990, "Unidades de Transporte para pasajeros: Minibuses Interurbanos. (Provisional)". Caracas, Fondonorma. 11 págs.

COVENIN 51-92. 1992, "Unidades de Transporte para pasajeros: Clasificación y Tipología. (2^{da} Revisión. Provisional)". Caracas, Fondonorma. 23 págs.

COVENIN 614-87. 1987. "Limite de Peso para Vehículos de Carga". Caracas, Fondonorma.. 4 págs.

COVENIN 2402-86. 1986. "Tipología de los Vehículos de Carga". Caracas, Fondonorma. 13 págs.

COVENIN 663-89. 1990. "Cauchos para Automóviles de pasajeros. (Provisional)". Fondonorma. 42 págs.

"Enciclopedia Práctica del Automóvil". 1994. Ediciones Génesis. España. Tomo 1,3 y 5.

5 Abreviaturas y unidades

A: Aproximación del área frontal proyectada del vehículo, $[m^2]$.

C_x : Coeficiente aerodinámico (Tabla I).

f : Coeficiente a la Rodadura.

f_0 : Coeficiente Básico a la Rodadura (Tabla II).

n_M : r.p.m. a Torque máximo.

n_N : r.p.m. a Potencia máxima.

r.p.m. Revoluciones por minuto.

N_M : Potencia a Torque máximo, [CV].

N_R : Potencia a la rodadura, [CV].

N_p : Potencia a la pendiente, [CV].

N_a : Potencia aerodinámica, [CV].

N_{calc} : Potencia total requerida calculada, [CV].

N_{Mec} : Potencia mecánica requerida, [CV].

ΔN : Delta de Potencia.

M_M : Torque Máximo, [Kgf * m].

V_V : Velocidad máxima del vehículo en la última relación de la transmisión, $\left[\frac{Km}{h} \right]$. V_{1max} : Velocidad máxima uniformemente distribuida para la relación de primera, $\left[\frac{Km}{h} \right]$.

V_{max1} : Velocidad máxima para la primera relación según el fabricante, $\left[\frac{Km}{h} \right]$.

$V_{arranque}$: Velocidad de arranque del vehículo, $\left[\frac{Km}{h} \right]$.

G : Peso Bruto Vehicular, $[Kg]$.

φ : Coeficiente de la carretera.

ϕ : Angulo máximo de la ruta, $[^\circ]$.

i_0 : Relación del diferencial.

i_{c1} : Primera relación de la transmisión.

r_d : Radio dinámico del neumático, $[m]$.

i_{cV} : Última relación de la transmisión.

η_{mec} : Rendimiento Mecánico del tren motriz (TablaIII).

TABLA I - Valores medios del Coeficiente Cx para diferentes tipos de vehículos automotores

TIPO DE VEHÍCULO		Coeficiente aerodinámico Cx
CAMIONES	Motor por delante de la cabina	1,0 – 1,2
	Motor debajo de la cabina	0,8 – 0,9
AUTOBUSES		0,6 – 0,8
AUTOMOVILES	Tipo Clásico	0,4 – 0,5
	Bien Perfilados	0,3 – 0,4
	Experimentales	0,13 – 0,25

TABLA II - Valores experimentales del coeficiente básico de rodadura para diferentes tipos de carretera

TIPO DE PAVIMENTO	Coeficiente f_0	
	Automóviles	Camiones
Asfalto en buen estado	0,012	0,010
Cemento en buen estado	0,014	0,012
Cemento medio	0,015	0,013
Empedrado en buen estado	0,025	0,023
Empedrado en mal estado	0,033	0,030
Empedrado en muy mal estado	0,060	0,050
Terreno natural en buen estado	0,030 - 0,060	
Terreno natural en mal estado	0,080 - 0,150	
Arena seca	0,150 - 0,300	

TABLA III - Valores medios del Rendimiento mecánico del sistema de transmisión

VEHÍCULOS	MARCHA	
	DIRECTA	INDIRECTA
AUTOMÓVILES	0,93	0,88
CAMIONES Y AUTOBUSES	0,9	0,88

Fig. I - Ventana de Inicio de la búsqueda (Petición de datos al usuario)

Selecciones	Marca	Modelo	Motor	Caja
1	Encava	E-5053 MT	C83.2.75	ALLISON B-40
2	Volkswagen	VW 16.210 CO	MWM 6.10 TCA	EATON FS 51
3	Mercedes Benz	OH-1625L	MB OM 449LA	ZF S 6-90/6,9
4	Mercedes Benz	OH-1625L	MB OM 449LA	ZF S 6-90/6,9
5	Volkswagen	VW 16.210 CO	MWM 6.10 TCA	EATON FS 51
6				
7				

Fig. II - Ventana de resultado de la búsqueda (Ordenados del más optimo hacia abajo)

Reporte Final		
Nombre de la Empresa:	Expresos los Llanos	Ruta: Caracas-Los Teques
Nombre de la Persona:	Pedro Gomez	Tipo de Unidad: Autobus
<hr/>		
Selección N°: 1	Marca: Encava	Modelo: E-5053 MT
Modelo del Motor: C83.2.75		Modelo de la Caja: ALLISON B-400 R
Modelo del Diferencial: No posee informacion		Relación del Diferencial: 5.38
<hr/>		
Selección N°: 2	Marca: Volkswagen	Modelo: VW 16.210 CD
Modelo del Motor: MWM 6.10 TCA		Modelo de la Caja: EATON FS 5106-A
Modelo del Diferencial: RS 23-155		Relación del Diferencial: 5.86
<hr/>		
Selección N°: 3	Marca: Mercedes Benz	Modelo: OH-1625L
Modelo del Motor: MB OM 449LA		Modelo de la Caja: ZF S 6-90/6,98
Modelo del Diferencial: MB HH 4/7 DL-10		Relación del Diferencial: 4.75
<hr/>		
<input type="button" value="Imprimir"/>		

Fig. III (Reporte final de las tres mejores unidades para la ruta seleccionada por el usuario)