

---

---

# **SELECCIÓN DEL TREN MOTRIZ DE VEHÍCULOS PESADOS (CARGA Y PASAJEROS) DESTINADOS AL SERVICIO PÚBLICO FEDERAL**

Mercedes Yolanda Rafel Morales  
Armando Zavala Ponce

**Publicación Técnica No. 128  
Sanfandila, Qro, 1999**

---

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Selección del tren motriz de  
vehículos pesados (carga y  
pasajeros) destinados al  
servicio público federal**

---

**Publicación Técnica No. 128  
Sanfandila, Qro, 1999**

---

*Selección del tren motriz*

---

---

Este trabajo fue realizado en el Instituto Mexicano del Transporte por Mercedes Yolanda Rafael Morales y Armando Zavala Ponce. Los autores contaron con la colaboración de Jaime Cervantes de Gortari y los valiosos comentarios de Miguel Martínez Madrid.



---

	Página
<b>Resumen</b>	<b>VII</b>
<b>Abstract</b>	<b>IX</b>
<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>XI</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2 Generalidades sobre Selección Vehicular</b>	<b>7</b>
2.1 Prácticas de Selección Vehicular	7
2.2 Factores que influyen en la Selección Vehicular	9
2.3 El proceso de Selección Vehicular	14
<b>3. Selección técnica del Tren Motriz</b>	<b>25</b>
3.1 Consideraciones para la Selección Del Tren Motriz	25
3.2 Componentes del Tren Motriz	27
3.3 Fuerzas que se oponen al movimiento de un vehículo	48
3.4 Características que proporciona el Tren Motriz	54
3.5 Selección del Tren Motriz de acuerdo al tipo de carretera	59
<b>4. Programa de Selección del Tren Motriz (PSTM)</b>	<b>63</b>
4.1 Algoritmo del Programa de Selección del Tren Motriz	63
4.2 Módulos del Programa	64

4.3 Características del Programa	69
<b>5. Casos de Aplicación del Programa de Selección del Tren Motriz</b>	<b>71</b>
5.1 Ejemplo de gráficas de desempeño del tren motriz evaluando la capacidad de arranque y ascenso en pendientes ( <i>gradeability</i> y <i>startability</i> )	71
<b>6. Consideraciones finales</b>	<b>79</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>81</b>

## **Resumen**

---

A través de estudios realizados por la Comisión Nacional de Ahorro de Energía y el Instituto Mexicano del Transporte en empresas del autotransporte público federal de carga y de pasajeros y en flotas industriales, se encontró el problema de la inadecuación de los vehículos destinados para la ejecución de su actividad, principalmente en lo relativo a los componentes del tren motriz. Ante este hecho, surge la necesidad de proporcionar los lineamientos que permitan ayudar a los empresarios en la selección de los componentes del tren motriz para lograr un desempeño mecánico y energético óptimo, que se adapte a las condiciones de operación de las unidades en las carreteras del país.

En este trabajo se presentan los aspectos necesarios que se deben de considerar para realizar la selección del vehículo, tal como los aspectos normativos, económicos y técnicos, entre otros. Asimismo se presenta en forma detallada, la selección técnica de cada elemento del tren motriz, así como los factores que se consideran para el análisis del desempeño del mismo, que son: la habilidad de arranque y la capacidad de ascenso en pendientes, el efecto que tiene la sobrecarga sobre los mencionados factores y en el consumo de combustible.

El procedimiento de selección del tren motriz no es un trabajo fácil, ya que cada mecanismo que lo integra se encuentra relacionado con los demás componentes y que cualquier modificación que se realice en alguno de ellos afecta al desempeño del tren motriz en su conjunto, lo que hace de la selección un proceso que requiere de gran cantidad de tiempo para su realización. Esto propició el desarrollo de un programa de cómputo como un elemento de apoyo para este trabajo, que permite configurar el tren motriz de un vehículo nuevo con componentes disponibles comercialmente en el país de acuerdo con las condiciones particulares de operación para una selección óptima de cada uno de los elementos que integran el tren motriz, así como permite la evaluación de vehículos en operación que presentan problemas en su desempeño.

Finalmente se presenta, a manera de ejemplo, el desempeño del tren motriz de un vehículo evaluando la capacidad de ascenso con diferentes capacidades de carga y la velocidad máxima que el vehículo desarrolla dentro del régimen de economía del motor.

## **Abstract**

---

An energy diagnosis study of the heavy duty transport industry revealed a poor mechanical performance of the vehicle due to an inadequate selection of the powertrain components. As a result, this industry reported high operation costs.

In order to increase the transport industry productivity, a powertrain selection criteria based on mechanical and energy performance has been designed according to the particular operational and road condition found in Mexico.

In this work are present the necessary aspects to consider on the selection of the vehicle, as well as the normative aspects, economic, technicians, between another. Also it is present the technical selection of each element of the powertrain, as well as, the factors that are considered for the analysis of the performance of the same they are; the maximum startability under all operating conditions and the gradeability that is the real performance of the unit on uphill grades based on engine horsepower; the effect that has the overload on them mentioned factors and in the consumption of fuel.

Like an element of support for this work a program of computation was developed that it automate the evaluation of vehicles in operation and it allow to configure the powertrain of a new vehicle with available components commercially in the country for a good selection, in accordance with the particular conditions of operation.

Finally is present the selection of powertrain of a vehicle by way of example evaluating the gradeability and the maximum road speed at which the maximum loads and grades can be negotiated inside the regime of economy fuel of the engine.

Selección del tren motriz

## Resumen ejecutivo

---

A través de estudios realizados por la Comisión Nacional de Ahorro de Energía y el Instituto Mexicano del Transporte en empresas del autotransporte público federal de carga y de pasajeros y en flotas industriales, se encontró el problema de la inadecuación de los vehículos destinados para la ejecución de su actividad, principalmente en lo relativo a los componentes del tren motriz. Ante este hecho, surge la necesidad de proporcionar los lineamientos que permitan ayudar a los empresarios en la selección de los componentes del tren motriz para lograr un desempeño mecánico y energético óptimo, que se adapte a las condiciones de operación de las unidades en las carreteras del país.

En este trabajo se presentan los aspectos necesarios que se deben de considerar para realizar la selección del vehículo, tal como los aspectos normativos, económicos y técnicos, entre otros. Asimismo se presenta en forma detallada, los aspectos principales que se deben de tomar en consideración para la selección técnica de cada elemento del tren motriz, que son:

- El tipo de actividad: Este aspecto define la naturaleza del transporte, esto es, si es de carga o de pasajeros y, por lo tanto, permite establecer el peso bruto vehicular máximo que puede transportar la unidad.
- La ruta de operación más crítica: Permite establecer los porcentajes de pendiente ascendente máximos que se requieren para calcular los factores de potencia adicional para arrancar y superar las pendientes críticas, así como para vencer la resistencia al rodamiento en una carretera en malas condiciones (rugosidad y desgaste de la superficie de la carretera).
- El desempeño del vehículo (*performance*): El desempeño del vehículo se ve afectado principalmente por dos parámetros cuantitativos: el peso de la carga máxima que puede transportar y

la pendiente crítica por la que transitará; a su vez esta última depende de la ruta de operación. Con estos parámetros se puede determinar, de manera preliminar, la potencia máxima del motor requerida y de ahí, establecer los elementos que integrarán el tipo de vehículo. Es en este contexto que la economía de combustible es el factor preponderante en la selección del tren motriz de un vehículo.

- Potencia máxima de un motor: En la selección del tren motriz, la potencia máxima necesaria para mover una carga es un aspecto de gran importancia; sin embargo es un criterio insuficiente, ya que no corresponde al mejor desempeño de la unidad, particularmente en la capacidad de arranque en pendientes (*startability*) y en la habilidad de ascenso en pendientes (*gradeability*), el efecto que tiene la sobrecarga sobre estos factores y en el consumo de combustible.
- Normatividad para la circulación o construcción de los vehículos: Este es un elemento clave para la selección del vehículo ya que se deben de observar las normas vigentes en materia de pesos y dimensiones, de protección ecológica y, el acuerdo de velocidad máxima permitida entre otras, ya que pueden imponer algunas restricciones de uso. Por ejemplo, las normas de los Estados Unidos en materia de ruido no son las mismas que existen en México y una empresa mexicana que desee operar en los E.U. estará expuesta a normas más rigurosas que posiblemente no cumple en estos momentos.

El procedimiento de selección del tren motriz no es un trabajo fácil, ya que cada mecanismo que lo integra se encuentra relacionado con los demás componentes y que cualquier modificación que se realice en alguno de ellos afecta al desempeño del tren motriz en su conjunto, lo que hace de la selección un proceso que requiere de gran cantidad de tiempo para su realización. Esto propició el desarrollo de un programa de cómputo como un elemento de apoyo para este trabajo, que permite configurar el tren motriz de un vehículo nuevo con componentes disponibles comercialmente en el país, de acuerdo con las condiciones particulares de operación, para una selección óptima de cada uno de los elementos que integran el tren motriz, así como

permite la evaluación de vehículos en operación que presentan problemas en su desempeño.

Debido a que el tren motriz es un sistema dinámico en el que los elementos están íntimamente relacionados, lo que hace difícil su selección. En el programa que se desarrolló para la selección y evaluación de trenes motrices, se tomó en cuenta la eficiencia energética de la unidad. Aquí la transmisión es el elemento clave para cumplir con las características de: capacidad de arranque en pendiente, capacidad de ascenso en pendiente, velocidad adecuada de operación, aceleración y capacidad de carga, esto debido a:

- La velocidad óptima de operación del vehículo, permitida por la reglamentación, debe alcanzarse dentro del rango de mínimo consumo específico de combustible del motor. El análisis de patrón de cambios de velocidades [*shift pattern*], se realiza a través del diagrama de velocidades con el fin de observar el comportamiento de la transmisión, es decir, todos los cambios de engranes de la transmisión se deben realizar dentro del rango de mínimo consumo específico de combustible del motor.
- La transmisión influye directamente sobre la capacidad de arranque en pendiente del vehículo, por la relación de paso del primer engrane o marcha. Por lo general, una relación de paso con un valor numéricamente bajo tendrá como consecuencia baja capacidad de arranque. Esto es particularmente importante cuando se analiza el desempeño de una unidad en terreno montañoso.
- Otra característica asociada con la transmisión, es la capacidad de ascenso del vehículo en pendiente. Una transmisión mal seleccionada puede causar, en una unidad a su máxima capacidad de carga, que el régimen del motor disminuya al grado de no permitir el avance del vehículo.

De lo anterior, se infiere que el elemento que proporciona las características de operación más importantes del vehículo es la transmisión. A manera de ejemplo, en el documento se presenta el desempeño del tren motriz de un vehículo evaluando la capacidad de

ascenso con diferentes capacidades de carga y la velocidad máxima que el vehículo desarrolla dentro del régimen de economía del motor.

Como se mencionó, los resultados se presentan en forma de gráficas para facilitar su interpretación, así como el listado de las características del vehículo y del tren motriz seleccionado. Las gráficas mencionadas son el diagrama de velocidades con el patrón de cambio de velocidades dentro de la zona de mínimo consumo específico de combustible y la gráfica de máxima capacidad de ascenso.

Para el caso de realizar una evaluación de los componentes de trenes motrices de vehículos existentes, en el diagrama de velocidades se puede observar la compatibilidad de los elementos del tren motriz. Esto se observa al lograr la velocidad reglamentaria en la zona de consumo mínimo de combustible, así como poder realizar todos los cambios de velocidades de la transmisión dentro del régimen de economía de combustible.

## **Consideraciones.**

Una selección técnica de vehículos y, en particular de su tren motriz traerá beneficios significativos, para cualquier empresa de autotransporte que considere los aspectos que se han planteado para realizar una selección técnica, ya que al tomar en cuenta las características reales de operación de la empresa, se optimiza la utilización de cada componente del tren motriz, permitiendo con esto prolongar la vida útil de cada uno de ellos, logrando además ahorros substanciales de combustible cuando se opera el motor dentro de su régimen de mínimo consumo.

La selección de los componentes del tren motriz es ardua, sin embargo esto afecta a la selección del vehículo; ya que al considerar las normas de pesos y dimensiones, de límites de velocidad o de protección ecológica, tanto de ruido como de emisiones anticontaminantes, se está asegurando que una decisión de compra que repercutirá cuando menos por cinco años de vida útil del vehículo, no tendrá restricciones para su utilización.

Al tener una selección técnica del tren motriz, se logra un desempeño del vehículo que permite lidiar con las pendientes más severas a una velocidad aceptable, sin por esto permitir un manejo inseguro en terrenos planos o en recorridos en vacío.

Al encontrar un compromiso entre los elementos del tren motriz que permita un manejo por parte del operador dentro de la zona de economía de combustible y alcanzar un rendimiento mecánico óptimo de cada uno de los componentes; se logra un manejo confortable por parte del operador, lo que repercute en la seguridad vial del vehículo y de los usuarios del camino.

## **1. Introducción**

---

El Tratado de Libre Comercio entre México, Canadá y Estados Unidos de América ha modificado la situación del transporte nacional, provocando cambios en las empresas de transporte. Dentro de estos se encuentra el de satisfacer la organización de cadenas de transporte multimodal que buscarán hacer eficiente las operaciones de las empresas de transporte.

En forma particular, es conveniente revisar las formas de contratación de los servicios de transporte, lo que implica establecer nuevas características para este aspecto. Es decir, los transportistas se verán obligados a ofrecer mayores garantías, tales como: la seguridad de la carga, la entrega justo a tiempo, etc.

En este contexto, es necesario que las empresas de transporte cuenten con vehículos que le permitan cumplir con la oferta de su servicio, por lo que es necesario que cuando tengan que adquirir unidades nuevas a título de renovación o por reposición de la flota vehicular, cuenten con criterios racionales para la selección adecuada de los vehículos.

La decisión de compra de una unidad nueva ya sea a manera de renovación o para satisfacer la demanda de transporte, no es fácil de tomar. En las empresas de transporte de servicio pesado, con vocación al servicio de carga o de pasajeros, el vehículo es el instrumento fundamental de su actividad, por lo que se debe de considerar su compra como un proyecto de inversión, en el cual se tienen que tomar en cuenta las necesidades reales de la empresa de acuerdo con el tipo de operación, los costos inherentes a la operación de la unidad, del mantenimiento y del combustible, así como, de la seguridad del operador, de los pasajeros o de la carga que transporta.

Sin embargo, los responsables de las compras de las unidades dejan los aspectos técnicos de la unidad bajo la responsabilidad de los fabricantes de los vehículos y sólo cuidan los aspectos externos que le

den imagen a la empresa con un costo mínimo en la adquisición del vehículo lo que a mediano o largo plazo puede resultar contraproducente. El responsable de la compra debe tener en mente la vida útil del vehículo y el valor de rescate cuando decida reemplazar la unidad.

Por lo general el transporte pesado en México utiliza vehículos que han sido seleccionados por criterios tradicionales, basados en la experiencia de los operadores, preferencias personales o recomendaciones comerciales, que en el desempeño que tendrá la unidad en las condiciones particulares a las que va a ser sometida; La causa principal de que se siga este esquema de selección se debe a la falta de conocimiento que existe en los transportistas de la influencia de los componentes del tren motriz y el peso de la carga transportada sobre el desempeño de la unidad y de su relación con el consumo de combustible. Es por ello, que una empresa de transporte necesita contar con criterios propios para seleccionar el tipo de unidades más adecuadas a sus necesidades, de tal forma que con las especificaciones reales disponibles del vehículo, sea posible predecir:

- Las características del vehículo que le permitan satisfacer diferentes requerimientos de desempeño bajo condiciones de operación determinadas.
- El desempeño que se logrará obtener de un vehículo, cuyas características están determinadas a través de las condiciones de operación reales.
- El efecto que se tiene al sobrecargar la unidad en la capacidad de arranque en pendiente y en la capacidad de ascenso en pendiente.

Lo anterior permite establecer un procedimiento estándar para obtener resultados que se pueden comparar a través de premisas similares y alcanzar una selección técnica acorde con las necesidades de operación de las empresas.

Un aspecto técnico que se debe de considerar como elemento fundamental para la toma de decisión de compra es la adecuada selección del motor y de los demás componentes del tren motriz del vehículo, ya que esto repercute directamente en la productividad de la empresa de transporte.

La naturaleza de la carga determina algunas características del tipo de vehículo, por ejemplo, si es de carga o de pasajeros, si debe cumplir un itinerario fijo o se debe ajustar a un tamaño específico. Al analizar la ruta de operación más crítica, se debe poner particular atención al estado de la carpeta asfáltica (rugosidad y desgaste de la superficie de la carretera) y a los porcentajes de pendiente ascendente máximos, ya que estos factores requerirán potencia adicional para arrancar y superar las pendientes críticas, así como, para vencer la resistencia al rodamiento de una carretera en malas condiciones.

La potencia máxima de un motor para mover la carga, suele ser un criterio insuficiente para seleccionar el tren motriz, ya que no corresponde al mejor desempeño, particularmente en la capacidad de arranque en pendiente (*startability*) o en la habilidad de ascenso en pendiente (*gradeability*).

Un elemento clave para la selección del vehículo es la conformidad con las normas vigentes en materia de pesos, dimensiones y de protección ecológica, ya que estos pueden imponer algunas restricciones de uso. Por ejemplo, el combustible *Diesel Sin* cumple en México y en los Estados Unidos con las normas ecológicas vigentes, pero las empresas mexicanas están expuestas a las rigurosas normas de los Estados Unidos sobre el ruido de los automotores, lo que podría impedir su operación internacional.

Considerando que el vehículo ideal no existe, es posible establecer los elementos técnicos para definir la mejor opción, considerando el tipo de recorrido que el vehículo realizará con mayor frecuencia, así como los tipos de carreteras más comunes en las rutas que cubre la empresa. Lo anterior, tiene como meta lograr un rendimiento mecánico y energético óptimo del vehículo, sin menoscabo de su capacidad para

subir pendientes críticas a una velocidad adecuada y con el motor operando el mayor tiempo posible en régimen estabilizado.

La selección de un vehículo se puede considerar como un problema de optimización de una función económica bajo restricciones. Esto es, se requiere identificar las características técnicas del vehículo que proporcionará máximas utilidades, cumpliendo el marco legal y normativo, las limitaciones financieras y los requisitos propios de cada empresa.

El tren motriz es un sistema dinámico en el que los elementos están íntimamente relacionados, por lo que se requiere procesar una gran cantidad de datos que permita realizar la combinación más conveniente para el tipo de operación de la empresa. Para llevar a cabo esta tarea de una manera expedita y confiable es necesario contar con herramientas de cálculo que ayuden en este proceso.

Existen en el mercado programas de cómputo que han sido desarrollados por fabricantes de motores para apoyar a sus distribuidores en la asesoría que le proporcionan a sus clientes para realizar la selección de su unidad. Sin embargo; estos programas están limitados sólo a la marca del motor.

Ante esta situación el Instituto Mexicano del Transporte con la finalidad de apoyar al autotransporte y en particular a las empresas del Servicio Público Federal, ha desarrollado un programa de cómputo que permite seleccionar los componentes del tren motriz utilizando todos los componentes que existen disponibles en el mercado nacional y permite realizar una evaluación del comportamiento del vehículo bajo las restricciones de la habilidad de ascenso y de capacidad de arranque en pendiente.

El propósito de este trabajo, es proporcionar los aspectos principales que se deben de considerar para lograr una selección técnica del tren motriz de las unidades destinadas al servicio tanto de carga como de pasajeros, mejor conocido como transporte de servicio pesado, y predecir el desempeño que tendrán estas unidades durante su operación, bajo diferentes circunstancias.

En el capítulo 1 se presentan los conceptos generales que se deben de considerar para seleccionar un vehículo. El capítulo 2 presenta los aspectos generales sobre la selección vehicular. En el capítulo 3 se presenta la selección técnica de los elementos del tren motriz. En el capítulo 4 se describe el programa de selección del tren motriz diseñado en el IMT, para la selección técnica de vehículos nuevos o usados. En el capítulo 5 se presentan algunos casos de aplicación del programa de selección del tren motriz. En el capítulo 6 se presentan las consideraciones finales del documento.



## **2. Generalidades sobre selección vehicular**

---

### **2.1 Prácticas de selección de vehículos**

La mayoría de las personas involucradas en la selección de un vehículo para una empresa de transporte, así como un gran número de operadores de camiones seleccionan o especifican el vehículo nuevo basados en la experiencia a través de los años y considerando un vehículo similar al que se encuentre en servicio, realizando sólo alguna modificación que sea necesaria para corregir alguna deficiencia en la operación o para mejorar el funcionamiento del vehículo.

Existen ciertos factores que han influido en la selección inadecuada de las unidades, tales como un desconocimiento del funcionamiento del tren motriz en el desempeño del vehículo, lo que ocasiona que unidades con “aparente mismo tren motriz” tengan desempeños diferentes en las mismas circunstancias de operación; esto provoca una mala operación de las unidades, un desgaste prematuro de los componentes mecánicos y en la mayoría de las ocasiones, un elevado consumo de combustible.

Otro factor que no ha sido tomado en cuenta, es que las unidades han sido diseñadas para condiciones orográficas diferentes a las que tiene nuestro país, por lo que dichas unidades no pueden subir en pendientes pronunciadas o con frecuencia no pueden alcanzar la velocidad reglamentaria, sobre todo en altitudes superiores a los 1800m sobre el nivel del mar.

Con los acuerdos comerciales que tiene México con otros países, la entrada de vehículos usados va a tener repercusiones en las empresas de transporte, ya que ante el atractivo precio de compra se dejará de observar si estos pueden ser utilizados en nuestro país y satisfacer las características de operación, lo que en el mediano plazo presentará problemas para la operación de las unidades, encareciendo su utilización.

Los diseños de motores más potentes provocarán cambios en los demás elementos del tren motriz, lo que implica mayores costos de operación de las unidades y quizá potencia de sobra para los requerimientos de la naturaleza del transporte.

Hoy, en las empresas de transporte especializado, la selección y aplicación del vehículo más conveniente para desarrollar un trabajo específico es un parámetro importante. La competitividad tan agresiva del sistema de transporte esta requiriendo del uso de equipo especializado. Por lo que el fabricante de unidades tradicionales de ayer, ya no puede competir con el fabricante de unidades especializadas de hoy. Por lo tanto, las empresas de transporte productivas deben estar planeadas considerando el esquema de estar siempre adelante de las demás.

De acuerdo a los estudios de diagnóstico realizados durante la operación de flotillas de empresas de transporte de carga en México y considerando que un vehículo nuevo recorre por lo general entre 10,000 y 35,000 km anuales más que las unidades con mayor edad, se pudo observar lo siguiente entre las unidades nuevas y antiguas.

- El ahorro de energía varía entre el 10 y 15 % de los gastos del consumo anual de combustibles, lo que representa aproximadamente un ahorro de 5,000 litros de diesel por año.
- El ahorro de mantenimiento varía entre el 32 y el 40% del costo de mantenimiento anual, lo que representa el mayor beneficio observado
- La disminución de los días de inmovilización representa un ahorro importante por año por vehículo.

De lo anterior se desprende el hecho de que al tener una buena selección del vehículo que necesita la empresa para sus operaciones, esto repercute en la calidad y en el cumplimiento del servicio con las empresas que requieren de éste, lo que se refleja en los beneficios económicos de la empresa de transporte.

## 2.2 Factores que influyen en la selección vehicular

La selección de un vehículo es un compromiso en el que se debe de analizar con detenimiento las necesidades a satisfacer antes de realizar la compra, por lo que es conveniente tratar de responder a preguntas tales como:

- ¿Cuál es la naturaleza de la carga a transportar?
- ¿Qué tipo de vehículo se requiere?
- ¿Cuál es la capacidad de carga normal que se desea transportar?
- ¿Cuál es la ruta de operación que prevalece en los recorridos?
- ¿Cuál es la pendiente máxima que se tiene que ascender?
- ¿Cuál es el kilometraje anual esperado?
- ¿Cuál es la velocidad de crucero normal para las unidades?
- ¿Cuánto tiempo transitará en ciudad y cuánto en carretera?

Haciendo un análisis de las respuestas posibles a las preguntas anteriores, se puede observar que la selección de un vehículo nuevo requiere la consideración de una diversidad de factores, entre los que se encuentran los económicos, los técnicos y los legales; estos factores se encuentran mutuamente relacionados entre sí, de tal manera que la afectación de alguno de ellos repercute en los demás. Sin embargo, existe la posibilidad de que algún factor no se pueda cumplir en su totalidad, por lo que la probabilidad de no encontrar un vehículo que cumpla cuando menos con los requisitos técnicos es mínima.

### 2.2.1 Factores económicos

Estos se refieren principalmente al nivel máximo de utilidades que resulta de un buen sistema de mercadeo para lograr flete y de un buen

sistema de operación de la empresa; es decir, se trata de lograr un índice óptimo de carga y de recorrido con carga.

### **2.2.2 Factores técnicos**

Los factores técnicos están sujetos a cumplir con los requerimientos económicos, y esto se alcanza cuando los vehículos satisfacen las necesidades de la empresa, esto es, la clase de actividad a la que esta destinada la unidad, así como el tipo de recorrido más común a realizar, cumplir con la capacidad de arranque en pendiente, con la capacidad de ascenso en pendiente y mantener la operación del motor dentro del régimen óptimo de economía de combustible, es decir, cumplir con la prueba real de desempeño a que puede ser sometido un vehículo. Teniendo estos factores en mente se puede decir que la selección se hará desde el punto de vista de ahorro de energía, ya que los demás factores han sido considerados por los fabricantes de los componentes del vehículo.

### **2.2.3 Factores legales**

La selección del vehículo debe de considerar que se satisfagan los aspectos legales que reglamentan la circulación y la construcción de los vehículos en México. Ejemplos de lo anterior son la norma sobre el peso y dimensiones máximas de los vehículos que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal (NOM-012-SCT-2-1995), o el acuerdo que establece el control de la velocidad para vehículos propulsados por motor Diesel destinados al servicio del autotransporte de personas y bienes (Diario Oficial de la Federación del 28 de julio de 1980).

### **2.2.4 Factores financieros**

Este parámetro se refiere a la inversión que tiene que realizar la empresa al adquirir un vehículo nuevo, el cual debe considerarse como un proyecto de inversión, con todas sus implicaciones. En el caso del autotransporte hay que resaltar lo siguiente:

- Las utilidades se van generando día a día y éstas se gastan de la misma forma, ya que se puede tener un margen de utilidades elevado y no disponer del financiamiento para solventar la compra parcial o total de una unidad.
- La adquisición de un vehículo nuevo no genera ingresos inmediatos, pero si egresos inmediatos como son: seguro, combustible, sueldos del operador, etc., por lo que se recomienda establecer un programa de financiamiento anticipado que permita hacer frente a los compromisos económicos que se hayan contraído.
- La realización de un programa de financiamiento, debe estar basada principalmente en el conocimiento de los costos de operación, compuestos por costos fijos y costos variables, los cuales están fuertemente impactados por el consumo de combustible (llegando a representar hasta el 50% de los costos variables). De ahí resulta la importancia de observar el criterio del consumo de energía en el momento de realizar la selección vehicular.

## 2.2.5 Otros factores

Existen otros factores que dependen principalmente de la naturaleza de cada empresa, algunos de estos se pueden considerar como observaciones que se deben de tener en el momento de la selección y no ser considerados como criterios discriminantes. Los factores que cabe resaltar son los siguientes:

### 2.2.5.1 Representación de la marca

Se dan casos en que los empresarios del transporte, por demostrar la importancia de su empresa, adquieren vehículos de alguna marca que no tiene representantes en el mercado nacional. Esto representa una gran desventaja para el propietario, ya que en caso de fallas mecánicas, se tiene que enfrentar a muchas dificultades para

procurarse las refacciones que les haga falta, así como dificultades para vender las unidades cuando se busca renovar el equipo.

### **2.2.5.2 Homogeneización del parque**

La homogeneización del parque, consiste en comprar una sola marca, lo que le permite:

- Mejorar la planeación del mantenimiento.
- Disminuir el número de refacciones en el almacén.
- Especializar la mano de obra del taller.
- Conocer mejor la frecuencia de las fallas típicas de esta marca, mediante un análisis eficiente.
- Disminuir los costos de mantenimiento.

### **2.2.5.3 Política de renovación**

Por lo general los responsables de la flota vehicular no tienen una política definida de renovación vehicular, ya que esperan a que los vehículos lleguen a más de diez años de antigüedad para pensar en sacarlos de circulación. Esta actitud no es la más conveniente, ya que si se analizan los costos de mantenimiento se observará que existe un período determinado en que éstos se vuelven demasiado altos, reduciendo fuertemente las utilidades. Es por esto recomendable que desde la compra del vehículo se considere una política de renovación, basándose en métodos que para tal efecto existen y que pueden ser utilizados por el empresario de acuerdo con la situación que presente la empresa.

#### **2.2.5.4 Proximidad del proveedor**

Es conveniente considerar la proximidad del proveedor cuando se realiza la selección del vehículo, ya que esto representa disminuir los costos de almacenamiento de las refacciones. En algunas empresas de transporte se ha logrado disminuir a cero el costo de almacenamiento de las refacciones debido a que aprovechan la cercanía de los representantes de la marca.

#### **2.2.5.5 Costo de mantenimiento**

En el momento de la selección hay que considerar el programa de mantenimiento que proporciona el representante de la marca, ya que este por lo general está basado en la aplicación de la garantía. Por lo que es conveniente que el transportista considere que la garantía conlleva a integrar el costo de mantenimiento preventivo correspondiente en su plan de financiamiento.

#### **2.2.5.6. Confort del operador**

Este aspecto por lo general tiene dos vertientes, una referida en el sentido estricto del confort de la cabina, esto es, asientos, insonorización, accesibilidad a los controles, etc., y la otra referida a la facilidad de conducción del vehículo, lo que se logra mediante una selección técnica. La primera acepción está relacionada directamente con el trabajo del operador, ya que este producirá en relación inversa al grado de su fatiga física.

## **2.3 El Proceso de Selección Vehicular**

Las empresas necesitan elaborar sus propios criterios para seleccionar el tipo de unidades que se adapten más a las actividades de las mismas. Por lo que, a continuación se presentan una serie de criterios a considerar que puede servir de guía para lograr una selección técnica adecuada del vehículo.

### **2.3.1 Naturaleza del Transporte**

Al seleccionar un vehículo para reposición o como nueva adquisición, se debe de considerar el tipo de actividad como el primer paso para la selección de la unidad, esto es, se debe de tener en mente la naturaleza del transporte, es decir, se transportará mercancías o personas. Igualmente deben tenerse en cuenta el tipo de operaciones al que será destinado normalmente: servicio urbano, foráneo o internacional.

Al realizar un análisis de los conceptos mencionados, se podrá identificar el perfil de la unidad que se requiere, esto es: peso, dimensiones, capacidad útil y tipo del vehículo, por ejemplo, autobús, midibús, camión unitario, camión remolque o tractocamión articulado.

Sin embargo, el tipo de actividad puede ser ya conocida tal como sería el caso de la renovación del parque vehicular de la empresa de transporte o porque ya se tiene la vocación definida de la empresa. Esto no excluye el hecho de que se tomen en consideración los aspectos mencionados con anterioridad, ya que la tecnología automotriz se encuentra en un cambio continuo debido a las condiciones de competitividad por el mercado del autotransporte. Esto ha venido repercutiendo en mejoras en el rendimiento energético del vehículo y la relación del tipo de manejo con respecto a la eficiencia energética por tipo de recorrido.

### 2.3.1.1 Transporte de carga

La naturaleza del transporte de carga se refiere principalmente al tipo de la mercancía, su presentación física para ser transportada, la forma de cargarla y descargarla, y la seguridad durante su transporte.

- **La naturaleza de la mercancía**

Es necesario tomar en consideración el tipo de producto de que se trate (esto es, sólido, líquido o gas), la densidad específica del producto, el volumen físico, la naturaleza del producto; si se trata de alimentos, sustancias peligrosas, animales, material de construcción, muebles, etc.

- **Presentación física de la mercancía**

La presentación física de la mercancía puede ser por piezas, a granel, con embalaje (tales como cartón, caja, bolsa, contenedor), etc.

- **Carga y descarga de la mercancía**

La forma de cargar y descargar la mercancía es un factor importante para el usuario del transporte ya que es en este tipo de operación en donde se puede dañar el producto, por lo que se debe de tomar en consideración la forma de manejar la carga en el vehículo; esto es manejo de la carga por la parte trasera o lateral, por la parte superior del vehículo, con o sin anden de carga y descarga, etc.

Las operaciones de carga y descarga pueden ser manuales o con equipo, tales como grúas en el vehículo o grúas externas al vehículo, cargar por gravedad, por aspiración con ayuda del motor o por bombeo externo, etc.

- **Seguridad de la mercancía transportada**

Por lo general, los mecanismos de contratación entre las empresas productoras y las transportistas están basados en un compromiso formal de palabra, sin que se tome en consideración la seguridad de la mercancía. Esta práctica se está erradicando para dar paso a contratos escritos y difundiendo la práctica común de que al contratar

los servicios del transporte, la compañía tiene la obligación de entregar la mercancía en buen estado, sin pérdidas y en el tiempo previsto, manteniendo las comunicaciones vía telefónica o por otros medios electrónicos a distancia, para cualquier eventualidad con la carga.

Otro factor importante que incide en la seguridad del transporte es la calidad del servicio de transporte. Esto lo miden las empresas que contratan los servicios por la antigüedad de las unidades, así como por el hecho de que los operadores de las unidades sean personas capacitadas en la naturaleza del transporte, serias y responsables.

### **2.3.1.2 Transporte de pasajeros**

Se debe de tener en cuenta que el proceso de selección de un vehículo destinado a este servicio, implica un alto sentido de responsabilidad por las empresas que se dedican a este tipo de servicio. Los pasajeros y el equipaje deben ser transportados con puntualidad, seguridad, comodidad y confort. El operador debe ser una persona con los conocimientos técnicos suficientes y con vocación de servicio en su actividad.

### **2.3.2 Perfil de Utilización de las Unidades**

Para determinar el tipo de vehículo que requiere la empresa es necesario conocer su modo de utilización y establecer en forma cuantitativa el nivel de aprovechamiento de la unidad que se desea seleccionar, por lo que se tienen que considerar los registros históricos de utilización del parque vehicular para aprovechar al máximo la unidad seleccionada.

La información de la que se debe de tener registro en la empresa y que se considera como mínima por cada unidad es:

- Recorrido promedio anual de la unidad.
- Número de viajes redondos por año.

- Número de días de operación por año.
- Rutas críticas.
- Efectividad en la utilización de la capacidad total de carga de la unidad.

Los primeros tres registros permitirán determinar un tren motriz apto para el tipo de servicio ofertado. Hay que considerar que al utilizar los días de operación (promedio) por año, el número de viajes (promedio) de ida y vuelta por año, así como el recorrido promedio anual, esto nos permite determinar el recorrido promedio diario y por viaje, así como la velocidad promedio de recorrido

El número de días de operación por año debe de tomar en consideración los días de inmovilización del vehículo por mantenimiento y reparaciones, así como los días de inmovilización por días festivos.

Para determinar la tasa de aprovechamiento de operación del vehículo o de la flota, se tienen que determinar los siguientes indicadores:

- Índice de carga (ocupación promedio)  $I_c$
- Índice kilométrico o índice de recorrido  $I_k$
- Índice de recorrido con carga o pasajeros  $I_{rc}$
- Índice de aprovechamiento vehicular  $I_{av}$

#### **2.3.2.1. Índice de carga (ocupación promedio) $I_c$**

El índice de carga representa el aprovechamiento de la capacidad de carga útil del vehículo. Este índice se determina considerando el promedio de carga, en kilogramos o el número de pasajeros

transportados, con respecto a la capacidad útil del vehículo y se calcula mediante la ecuación número1:

$$I_C = U_{pt}/C \quad (1)$$

donde:

$I_C$  = Índice de carga

$U_{pt}$  = Unidades promedio transportadas, pasajeros o kilogramos de carga

$C$  = Capacidad útil del vehículo

La capacidad de carga útil del vehículo es la diferencia entre el peso vehicular total menos el peso muerto de la unidad completa.

### 2.3.2.2. Índice kilométrico o índice de recorrido $I_K$

Este índice representa la relación entre la utilización del vehículo con base en la distancia anual real recorrida por el vehículo y la distancia anual que la empresa determine como norma de recorrido “ideal”, este índice se determina mediante la ecuación 2.

El valor que se ha considerado como ideal para los transportes en México, cuando la empresa no tiene un kilometraje anual establecido como ideal, es de 100,000 km por año para el transporte de carga y 180,000 km por año para el transporte de pasajeros, esto de acuerdo con estudios realizados en diferentes empresas de transporte tanto de carga como de pasajeros.

$$I_K = d_r/d_i \quad (2)$$

donde:

$I_K$  = Índice kilométrico (índice de recorrido)

$d_r$  = distancia real recorrida

$d_i$  = distancia ideal establecida

### 2.3.2.3. Índice de recorrido con carga o pasajeros $I_{rc}$

El índice de recorrido con carga predice el porcentaje del recorrido en vacío de la unidad, es decir, establece la relación de utilización de la capacidad útil del vehículo, esto es, la relación entre el kilometraje realizado con carga (o pasajeros) y el kilometraje total efectuado. Este índice se calcula con la ecuación 3.

$$I_{rc} = d_{rc}/d_{to} \quad (3)$$

donde:

$I_{rc}$  = Índice de recorrido con carga

$d_{rc}$  = distancia recorrida con carga

$d_{to}$  = distancia total efectuada

### 2.3.2.4. Índice de aprovechamiento vehicular $I_{av}$

El índice de aprovechamiento vehicular relaciona el número de toneladas-kilometro (pasajero-kilometro) realmente transportadas y el número de toneladas-kilometro (pasajero-kilometro) ofertadas por la empresa, ecuación 4.

$$I_{av} = I_c \times I_{rc} \quad (4)$$

donde :

$I_{av}$  = Índice de aprovechamiento vehicular

$I_c$  = Índice de carga

$I_{rc}$  = Indice de recorrido con carga

El índice de aprovechamiento vehicular se puede calcular también como el producto del índice de carga y el índice de recorrido con carga, lo que dará como resultado la tasa de aprovechamiento del vehículo mediante la ecuación 5, esto es:

$$I_{av} = (U_{pt}/C) \times (d_{rc}/d_{to}) \quad (5)$$

donde :

$I_{av}$  = Indice de aprovechamiento vehicular

$U_{pt}$  = Unidades promedio transportadas, pasajeros o kilogramos de carga

$C$  = Capacidad útil del vehículo

$d_{rc}$  = distancia recorrida con carga

$d_{to}$  = distancia total efectuada

Los valores calculados de estos indicadores deben de tender hacia el valor de uno de manera ideal, sin embargo en México se han establecido los valores promedio para este tipo de indicadores, dependiendo del tipo de transporte del que se trate, en la tabla 1 se establecen los valores promedio.

**Tabla 1. Valor promedio de los índices de operación en México**

Indicadores	Tipo de autotransporte		
	foráneo de carga	foráneo de pasajeros	flotas industriales
Indice kilométrico	0.80	1.00	0.85
Indice de Carga	0.50	0.90	0.50
Indice de recorrido con carga	0.50	0.90	0.50
Indice de aprovechamiento vehicular	0.50	0.81	0.25

### 2.3.3 Rutas más Críticas

Las condiciones de los caminos por donde transitarán los vehículos son un aspecto importante, ya que dependiendo de ello se analizarán los componentes mecánicos del vehículo que se ofrecen en el mercado.

Es por esto que la definición de las rutas más críticas resulta indispensable y se debe prestar particular atención al estado de la carpeta asfáltica tal como la rugosidad y desgaste de la superficie de la carretera y a los porcentajes de pendiente ascendente máximos, ya que dependiendo del porcentaje que tiene que vencer la unidad, será el desempeño del mismo, tanto en la capacidad de ascenso o arrancabilidad en pendiente. Estos son factores que inciden

fuertemente en la determinación de los componentes del tren motriz y en la potencia requerida del motor.

### **2.3.3.1 Tipos de Terrenos**

Las características de las carreteras están limitadas de acuerdo con las características topográficas del terreno que atraviesen, por lo que se consideran los siguientes tipos de terreno: plano, lomerío y montañoso.

- Terreno plano

Es considerado como el terreno cuyo perfil acusa pendientes longitudinales uniformes y generalmente de corta magnitud, con pendiente transversal escasa o nula

- Terreno de tipo lomerío

Este terreno presenta un perfil longitudinal con sucesiones de cimas y depresiones de cierta magnitud con pendiente transversal no mayor que 45 % con respecto al inicio de la misma pendiente.

- Terreno tipo montañoso

Este tipo de terreno esta caracterizado por accidentes topográficos importantes, presentando además pendientes transversales mayores que 45% con respecto al inicio de la misma pendiente.

### **2.3.3.1 Tipos de pendientes**

El término pendiente utilizado en una obra vial como lo son las carreteras, esta definido como la “relación entre el desnivel y la distancia horizontal que hay entre dos puntos”. Diferenciándose principalmente dos tipos de pendientes, la pendiente gobernadora y la pendiente máxima.

- Pendiente Gobernadora

Es la pendiente que teóricamente puede darse a las tangentes verticales en una longitud indefinida

- Pendiente máxima

Es la mayor pendiente de una tangente vertical que se podrá usar en una longitud que no exceda a la longitud critica correspondiente

En la tabla 2 se presentan los valores máximos de las pendientes gobernadoras y de las pendientes máximas de acuerdo con el tipo de carretera.

**Tabla 2. Valores máximos de las pendientes gobernadoras y de las pendientes máximas**

Tipo de Carretera	Pendiente Gobernadora [%] tipo de terreno			Pendiente máxima [%] tipo de terreno		
	plano	lomerío	montañoso	plano	lomerío	montañoso
E	-	7	9	7	10	13
D	-	6	8	6	9	12
C	-	5	6	5	7	8
B	-	4	5	4	6	7
A	-	3	4	4	5	6



### **3. Selección Técnica del Tren Motriz**

---

#### **3.1 Consideraciones para la Selección del Tren Motriz**

El tren motriz de un vehículo es el conjunto de sistemas y elementos que permiten transformar la energía interna del combustible que se introduce en el motor en trabajo y movimiento del vehículo, a través de una serie de transformaciones termoquímicas de la energía proporcionada por el combustible.

El desempeño del vehículo, que en la práctica es conocido como *performance*, se ve afectado por los elementos que componen el tren motriz, así como por diversos parámetros cuantitativos, de los cuales destacan principalmente dos: la pendiente más crítica por la que transitará, que a su vez depende de la ruta de operación y del peso de la carga máxima que se quiere transportar.

Con esto se puede en principio determinar la potencia máxima del motor y, por consiguiente, se pueden establecer los elementos que integrarán el tipo de vehículo y su tren motriz. El peso bruto vehicular y las dimensiones requeridas, son factores que requerirán potencia adicional para arrancar y superar las pendientes críticas, así como para vencer la resistencia al rodamiento en una carretera en malas condiciones.

La potencia máxima de un motor para mover una carga, es un criterio insuficiente para seleccionar el tren motriz, ya que no corresponde al mejor rendimiento, particularmente en la capacidad de arranque en pendientes (*startability*) o en la habilidad de ascenso en pendientes (*gradeability*).

La selección del tren motriz tiene una gran importancia debido a que por las condiciones geográficas del país y por otra parte por el incremento del costo del combustible que repercute directamente en los costos de operación, particularmente cuando el tren motriz no es el

adecuado. Un tren motriz adecuado debe de proporcionar las siguientes características a un vehículo:

- Capacidad de arranque en pendiente (*startability*).
- Capacidad de ascenso en pendiente (*gradeability*).
- Velocidad máxima.
- Aceleración.
- Capacidad de carga.

Al seleccionar un vehículo, la selección del tren motriz del mismo, es la etapa que requiere de más atención, ya que depende de la configuración que se seleccione, los problemas o ventajas que se tendrán durante la operación del vehículo. El tren motriz esta integrado por:

- ◆ Motor
- ◆ Embrague
- ◆ Transmisión
- ◆ Diferencial
- ◆ Llantas

## 3.2 Componentes del Tren Motriz

### 3.2.1 Motor

Los vehículos en el autotransporte utilizan motores de combustión interna que proporcionan potencia a partir de la combustión de un hidrocarburo con el aire ambiente. Los hidrocarburos utilizados principalmente en este tipo de motores son gasolina o diesel, sin embargo, debido a que en el autotransporte de servicio pesado el motor utilizado de manera general es el motor a diesel, es conveniente presentar el principio de funcionamiento de este tipo de motor.

El motor diesel es un motor de encendido por compresión (CI) formado por un conjunto de mecanismos de precisión que al trabajar en forma sincronizada, transforman la energía química almacenada en el combustible en trabajo mecánico, utilizando el principio de 4 o dos tiempos. Sin embargo en aplicaciones automotrices los motores diesel son siempre de cuatro tiempos o carreras. El ciclo de trabajo del motor es:

*Admisión:* En esta primera carrera, el pistón desciende del punto muerto superior (PMS), al punto muerto inferior (PMI), mientras la válvula de admisión permanece abierta; al descender el pistón, éste va dejando un vacío que será llenado por el aire que entra a través de los conductos de admisión.

*Compresión:* Durante la segunda carrera, llamada carrera de compresión, el aire atrapado en el cilindro es comprimido por el pistón, el cual se mueve ahora hacia arriba, es decir, una vez que el pistón ha descendido hasta el PMI este retorna al PMS; las relaciones de compresión que se alcanzan se encuentran en un rango de 14:1 y 24:1. En este proceso, el aire se calienta hasta temperaturas cercanas a los 800°C. Al final de la carrera de compresión, el combustible se inyecta, dentro de la cámara que contiene el aire calentado, a una presión cercana a los 1500 bar. En este proceso las válvulas de admisión y de escape permanecen cerradas.

*Expansión (carrera de Trabajo):* En la tercera carrera el combustible atomizado finalmente enciende como un resultado de la autoignición y se quema casi completamente. La carga de calor en el cilindro sube aún más y nuevamente la presión del cilindro se incrementa. La energía liberada por la ignición es aplicada al pistón. El pistón es forzado a bajar y la energía de combustión es transformada en energía mecánica.

*Escape:* En la cuarta carrera, la válvula de escape se abre y el pistón se mueve nuevamente hacia arriba, pasando del PMI al PMS. El pistón empuja hacia afuera del cilindro los gases quemados, producto de la combustión a través de la válvula de escape que se encuentra abierta.

En la etapa de admisión se presentan demandas altas de inyección del combustible y del suministro de aire. Tanto en la carrera de admisión como en la de compresión se genera un vórtice de aire. Este vórtice es causado por la forma especial del puerto de entrada en la cabeza del cilindro. El diseño de la cabeza del pistón, que tiene la cámara de combustión integrada, contribuye al movimiento del aire al final de la carrera de compresión, esto es, al inicio de la inyección.

La forma de la cámara de combustión durante el desarrollo del proceso en el motor diesel, es importante por lo que hoy es ampliamente utilizado un pistón cilíndrico con depresión (hueco), ya que esto permite tener una relación adecuada entre el control de aire y la fabricación económica de la cámara. Hay que tener en cuenta que además de una buena turbulencia del aire, el combustible debe ser distribuido uniformemente para asegurar un mezclado rápido.

En el motor diesel, el combustible es inyectado directamente dentro de la cámara de combustión cerca del pistón, cuando se alcanza el final de la etapa de compresión en la que el aire se encuentra caliente teniendo como resultado la auto ignición. Por lo que se debe de considerar que si la cantidad de aire en la cámara de combustión permanece constante, solamente la cantidad de combustible que se necesita será regulada. Por lo que los procesos de atomización del combustible, calentamiento, evaporación y mezcla con el aire se deben presentar de forma rápida y de manera sucesiva.

Para el proceso de combustión, los motores diesel pueden contar con una precámara de combustión o con un sistema de inyección directa para efectuar la combustión. Los motores de inyección directa son más eficientes y más económicos que los de precámara, por esto son los más utilizados en los vehículos de servicio pesado.

Durante la combustión se forman una variedad de diferentes depósitos producto de la combustión. Estos productos dependen del diseño del motor, de la potencia de salida del motor y de la carga de trabajo.

La combustión completa del combustible produce una reducción en la formación de substancias tóxicas. Esta combustión se debe a la óptima relación de la mezcla aire-combustible, a la exactitud en el proceso de inyección y a la turbulencia óptima de la mezcla combustible-aire.

Sin embargo, este proceso de combustión en los motores es incompleto. Esto se debe a diferentes factores, tales como que el combustible no es homogéneo, el proceso no es instantáneo, a la presencia del fenómeno de disociación y a los efectos de confinamiento y de pared, los que contribuyen a la formación de contaminantes entre los que se encuentran principalmente monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos no quemados (HC), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y partículas (PM).

Cuando el motor se encuentra frío, en los gases de escape se notan los compuestos no oxidados o los hidrocarburos parcialmente oxidados, los cuales son directamente visibles en forma de humo blanco o humo azul, con un fuerte olor a aldehídos.

### **3.2.1.1 Curvas características del motor**

Las curvas características del motor permiten conocer su comportamiento bajo diferentes condiciones de régimen de operación, por lo que es necesario conocer e interpretar estas curvas, las cuales

son: *curva de torque o par torsional, curva de potencia y curva de consumo específico de combustible*

- ***Curva de torque o par torsional***

Por definición el torque, momento o par, es la multiplicación de la fuerza por la distancia y tiene como efecto producir un giro.

Para el caso de un motor, la combustión desarrollada a partir de la quema de un combustible, ejerce una fuerza sobre los pistones que se transmite a la biela y al cigüeñal. Este movimiento alternativo de los pistones se transforma así, en un movimiento circular. Por lo que se obtienen fuerzas de cada lado del volante del motor, a esta disposición particular de fuerzas se le denomina par, momento o torque.

La ecuación que describe este comportamiento es:

$$T = F \cdot d \quad (6)$$

donde:

T = Torque [N.m]

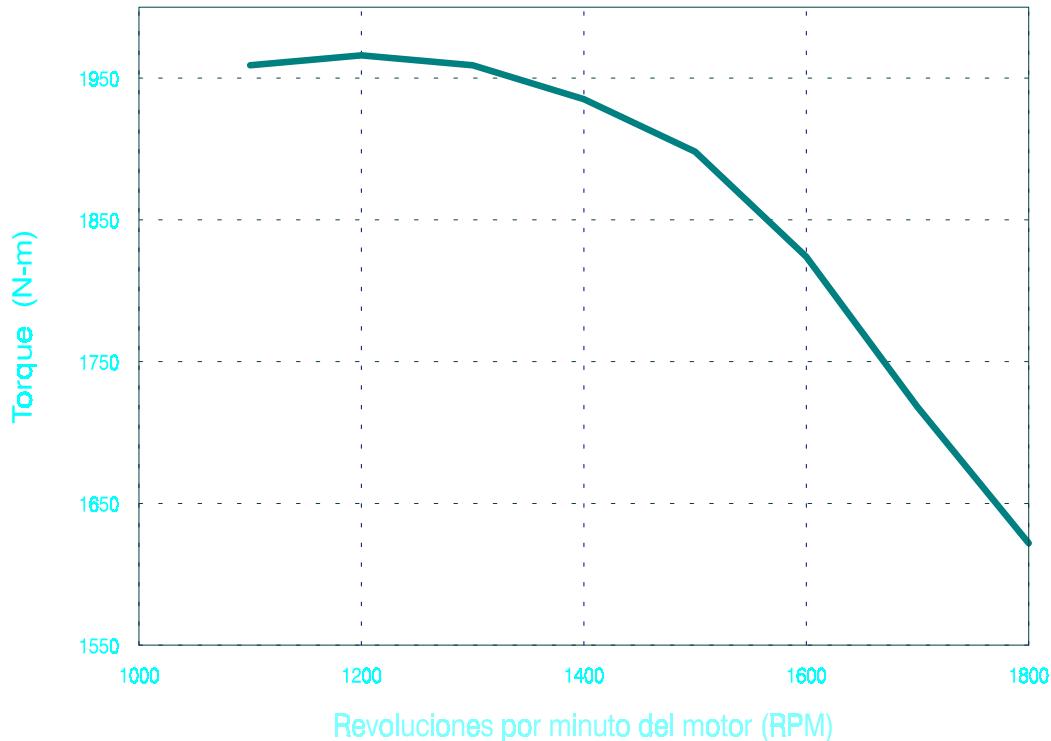
F = Fuerza [N]

d = distancia al punto de aplicación [m]

Es decir, el torque mide en Newton-metro la fuerza que se ejerce a la salida del motor, variando en función del volumen del combustible dentro de la cámara de combustión. Por lo que el torque varía de acuerdo con el régimen del motor (revoluciones por minuto o r.p.m.).

Por lo que la curva de torque representa la fuerza ejercida sobre los pistones cuando se realiza el proceso de combustión en un motor de combustión interna, esta fuerza se transmite a las bielas y al cigüeñal, provocando el par torsional.

En la figura 3.1 se muestra la curva de torque de un motor diesel, en el que se tiene un valor máximo del torque a las 1200 RPM del motor, ya que a medida que se van aumentando el régimen del motor se puede observar cómo el valor del torque disminuye.



**Figura 3.1 Curva de torque**

- **Curva de potencia**

La potencia es el trabajo que se desarrolla por unidad de tiempo, esto es la rapidez con que se realiza un trabajo, midiéndose en Newton-metro entre segundo (Nm/s) o en caballos de potencia (HP). En los motores, si se conoce el valor del torque que produce el motor en ciertas r.p.m., la potencia se puede calcular; este valor torque se multiplica por el régimen del motor obteniendo de esta forma la potencia del motor.

La potencia se calcula al dividir el trabajo entre el tiempo, de acuerdo con la ecuación 7.

$$P = W/t \quad (7)$$

donde:

P = Potencia [N.m/s]

W = Trabajo [N.m]

t = tiempo [s]

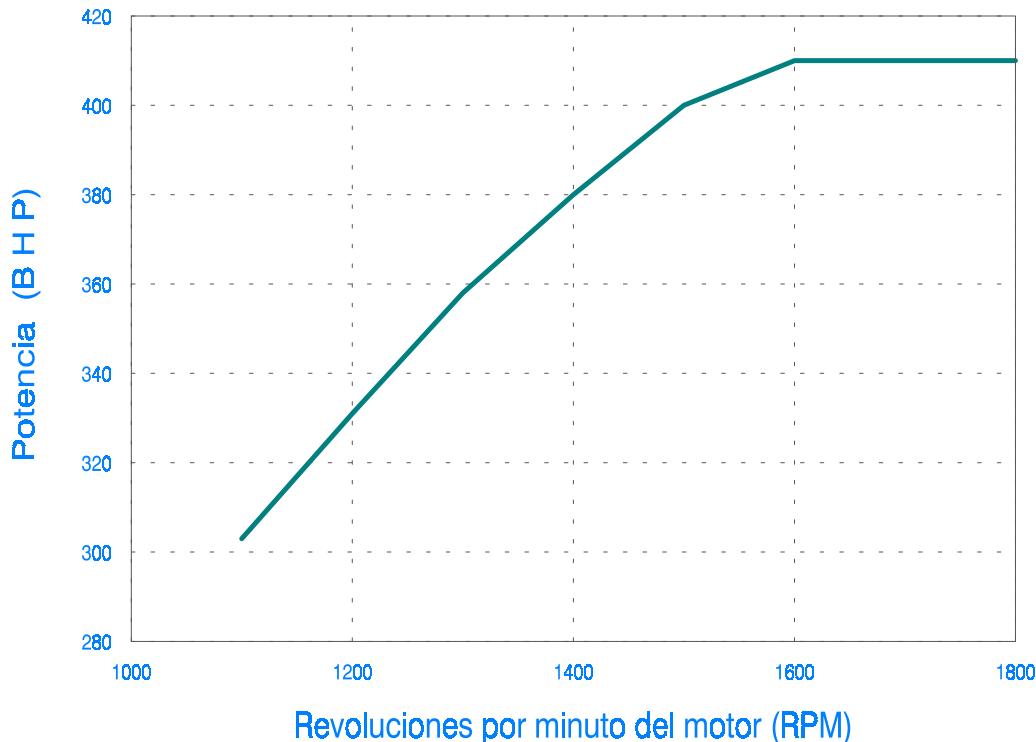
La curva de potencia del motor nos permite no sólo conocer el valor absoluto de la potencia, sino que además permite conocer en qué régimen del motor se libera la potencia máxima del mismo.

El torque no guarda una relación de proporcionalidad con la potencia. Cuando un motor está bien diseñado permite liberar un torque máximo al 80 por ciento de la potencia disponible, en un rango que no exceda de 1800 r.p.m., con el fin de garantizar un consumo mínimo de combustible.

En la actualidad, se tiene la tendencia a desarrollar una nueva generación de motores diesel denominados maxi-torque o de torque plano. Estos motores proporcionan la misma cantidad de potencia disponible, ofreciendo el torque máximo de forma constante en un rango de 300 r.p.m. y además proporcionan un torque 20 por ciento mayor, en un rango entre 1200 y 1600 r.p.m., esto garantiza un menor consumo de combustible y una mayor duración del motor.

La curva de potencia representa el trabajo por unidad de tiempo producido por un motor de combustión interna, esta curva se determina al multiplicar el par torsional por la velocidad de giro del cigüeñal (RPM del motor). En la figura 3.2 se observa cómo a medida que aumenta el régimen del motor el valor de la potencia también aumenta, alcanzando su valor máximo a 1600 r.p.m. y manteniendo este valor hasta alcanzar la velocidad máxima regulada a plena carga del motor.

Existen motores en los que la curva de potencia presenta su valor máximo cuando alcanza las revoluciones por minuto máximas a las que está regulado el motor. Sin embargo, existen motores que alcanzan la potencia máxima antes de la velocidad gobernada del motor y en el punto del régimen gobernado la potencia es menor.



**Figura 3.2 Curva de potencia en un motor diesel**

- **Curva de consumo específico de combustible**

La curva de consumo específico de combustible nos permite observar como este consumo aumenta o disminuye con el régimen del motor. Esta curva se expresa por lo general en gramos de combustible por HP y por hora de funcionamiento (g/HP.h). Sin embargo, según los países de origen del vehículo, se pueden encontrar otras unidades tal como el gramo por Watt y por hora (g/W.h) o la libra por HP y por hora.

El consumo específico de combustible depende físicamente de la potencia y del torque del motor.

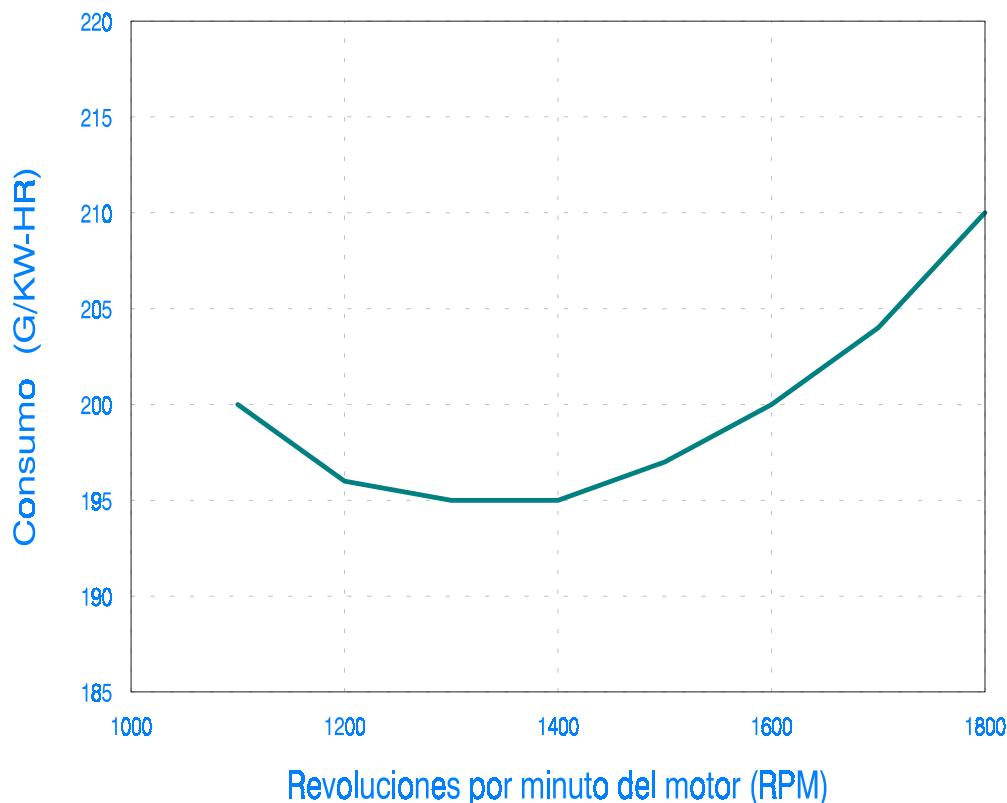
En las curvas de consumo específico (ver figura 3.3), se observa que el menor consumo se tiene cerca del régimen de torque máximo, esto explica que se tenga en este punto la eficiencia máxima.

De todo lo anterior, se concluye que la potencia máxima de un motor es un criterio insuficiente para medir la eficiencia del mismo. A una misma potencia, se seleccionará el motor que libere el máximo torque con el mínimo consumo específico de combustible, cuidando que las condiciones óptimas se logren con el número más bajo posible de revoluciones por minuto.

La curva de consumo específico de combustible representa la cantidad de combustible que consume el motor de acuerdo al régimen del mismo para generar un torque y una potencia determinada.

Un motor bien seleccionado deberá cumplir con lo siguiente:

- Una potencia suficiente para vencer las fuerzas que se oponen al desplazamiento del vehículo, de acuerdo con el perfil del recorrido.
- Un torque suficiente a un bajo régimen del motor.
- Un consumo específico mínimo a bajo régimen.



**Figura 3.3 Curva de consumo específico de combustible**

### 3.2.2 Embrague

El embrague es un mecanismo que permite transmitir el torque del motor para poner un vehículo o una máquina en movimiento por medio de discos de fricción desde un miembro que es el impulsor (volante del motor) a un impulsado (transmisión).

El torque requerido del embrague se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T_{em} = ( R \times M \times N \times Q ) / 12 \quad (8)$$

Donde:

$T_{em}$  = Torque del embrague [N.m]

R = Radio medio del disco [m]

M = Coeficiente de fricción: (0.25 para pasta orgánica; 0.32 para pasta cera metálica)

N = Número de caras de fricción

Q = Carga en el plato [kg]

El valor calculado del torque del embrague debe ser como mínimo un 40 % más alto que el torque máximo del motor.

### 3.2.3 Transmisión

La transmisión o caja de cambio de velocidades es la parte del tren motriz que aprovecha el torque y las revoluciones por minuto que desarrolla el motor para modificarlos mediante una serie de engranes y transmitirlos a las ruedas motrices, permitiendo al vehículo desarrollar una variedad de velocidades. La información respecto a las relaciones de la transmisión se obtiene de las fichas técnicas del fabricante del vehículo o de la transmisión.

La transmisión y el diferencial proporcionan la relación de engranes necesarios para utilizar de manera efectiva la potencia del motor. Por lo que la selección cuidadosa de la relación de engranes hace posible alcanzar la operación del motor dentro de su rango de trabajo para maximizar el desempeño al menor costo. La máxima eficiencia del rango de trabajo para algunos motores es cuando la máxima potencia es producida por litro de combustible consumido.

Algunos diseños de motores utilizan altas r.p.m. para desarrollar la potencia máxima y requieren una correcta relación de engranes para reducir las altas r.p.m. requeridas para las velocidades del camino. Con motores de bajas r.p.m., la relación de engranes de la transmisión

debe mantener las r.p.m. del motor cerca del torque pico para la eficiente operación del vehículo.

Para la selección de la relación de engranes para el acoplamiento de la transmisión con el eje trasero es conveniente considerar lo siguiente:

- Seleccionar la relación correcta de engranes a través de la experiencia del desempeño de las unidades bajo condiciones similares a las requeridas.
- Las relaciones de los engranes deberán ser numéricamente lo suficientemente rápidos para asegurar la velocidad deseada durante la operación en autopistas. La velocidad límite se deberá alcanzar cerca del 90% de la velocidad gobernada del motor.
- La relación de engranes deberá ser numéricamente baja para proporcionar un máximo desempeño con combinaciones de engranes menores, y una arrancabilidad (*startability*) bajo todas las condiciones de operación. Para arrancar un vehículo sobre terreno plano, se requiere una reducción suficiente que permita negociar una pendiente del 10%. Para arrancar un vehículo sobre una pendiente se requerirá una reducción que permita arrancar la unidad equivalente al 10% más la reducción requerida para negociar la pendiente deseada. La reducción total del engrane bajo en el tren de engranes es equivalente al producto del menor engrane en cada componente.
- La reducción total del engrane para cualquier combinación de engranes, es calculada a través de la multiplicación de las relaciones de los engranes correspondientes a los cambios deseados en cada componente, ecuación 9.

$$Ret = Rt \times Ra \times Rd \quad (9)$$

donde:

Ret = Reducción total del engrane

Rt = Relación de la transmisión

Ra = Relación del eje auxiliar

Rd = Relación del diferencial

La reducción global del conjunto de engranes de la transmisión debe ser calculada para determinar la pendiente máxima de arrancabilidad del vehículo, ecuación 10.

$$Rge = Rtp \times Rta \times Rd \quad (10)$$

donde:

Rge = Reducción global del conjunto de engranes

Rtp = Relación de la transmisión principal

Rta = Relación de la transmisión auxiliar

Rd = Relación del diferencial

La pendiente máxima en la que puede iniciar la marcha (arrancabilidad) un vehículo se calcula mediante la siguiente ecuación (11):

$$Pma (\%) = [(T \times Rge \times rll) / (10.7 \times PBV)] - Rr \quad (11)$$

donde:

Pma = Pendiente máxima de arrancabilidad [%]

T = Torque neto del motor @ 800 r.p.m.

Rge = Relación global del conjunto de engranes

R<sub>II</sub> = Velocidad de rotación de la llanta [rev/km]

PBV = Peso bruto vehicular [kg]

R<sub>r</sub> = Resistencia al rodamiento [%]

- El número de relaciones requeridas para acelerar progresivamente el vehículo de manera fácil y rápida, cuando se encuentra cargado, deberán tener la misma diferencia una de otra, es decir estar igualmente espaciadas y no sobreponerse. El paso ideal entre los engranes debe estar entre el 18 y 20% entre cada paso. La relación de paso representa el porcentaje de separación de los engranes entre los pasos del engrane y se calcula mediante la ecuación 12.

$$\%R_p = [(R_m / R_{me}) - 1] \times 100 \quad (12)$$

donde:

$\%R_p$  = Relación de paso [%]

R<sub>m</sub> = valor de la relación mayor

R<sub>me</sub> = valor de la relación menor

Para lograr una flexibilidad ideal en la operación del vehículo, las relaciones que se seleccionen deben proporcionar una caída (disminución rápida) en las r.p.m. del motor entre la velocidad gobernada y las r.p.m. de la parte baja del cambio, estas r.p.m. son las requeridas para alcanzar el cambio del siguiente engrane durante los cambios progresivos.

El rango ideal de caída de las r.p.m. se presenta entre las 300 y 500 r.p.m., para un cambio adecuado. La caída excesiva de r.p.m. entre cambios, demora y complica los cambios provocando que el vehículo pierda momento (torque). Las r.p.m. del motor deberán ser mantenidas durante su operación.

La característica principal de una transmisión, además de la relación de cada velocidad, es que permita el escalonamiento de las mismas cuando se realizan los cambios. A esto se le denomina *diagrama de velocidades*. Este diagrama indica la velocidad máxima alcanzable y el número de revoluciones por minuto en las cuales se logra dicho valor.

Para seleccionar adecuadamente una caja de velocidades, se tienen que considerar los siguientes aspectos:

- Que la velocidad máxima permitida, para cada posición de la caja de velocidades se logre con un 90 por ciento de las r.p.m. máximas permitidas, de tal forma que siempre exista una potencia de reserva del motor que evite un desgaste prematuro.

Esto es, la velocidad máxima permitida debe alcanzarse dentro del rango de mínimo consumo específico de combustible del motor. El análisis de patrón de cambios de velocidades [*shift pattern*], se realiza a través del diagrama de velocidades con el fin de observar el comportamiento de la transmisión, logrando que todos los cambios de engranes de la transmisión se realicen dentro del rango de mínimo consumo específico de combustible del motor.

- Que la velocidad de crucero que se necesita se obtenga siempre en un rango entre las 1200 y 1600 r.p.m., correspondiendo al consumo promedio más bajo, con el propósito de ahorrar combustible y dar mayor vida al motor que resulta de esta forma menos revolucionado.
- Que la última velocidad presente un coeficiente de reducción (o desmultiplicación) que no castigue de sobremanera la velocidad promedio, de tal forma que el operador la use y así obtenga los mejores rendimientos en los recorridos que permita el uso de esta velocidad.
- Lograr con la última relación de caja y sobre carreteras planas o autopistas, una velocidad que corresponda al límite legal y que

permite al motor girar alrededor del régimen de consumo mínimo.

- Permitir subir las pendientes más fuertes con una velocidad aceptable. La transmisión influye directamente sobre la capacidad de arranque en pendiente del vehículo, debido a la relación de paso del primer engrane o marcha, una relación de paso numéricamente baja tendrá como consecuencia baja capacidad de arranque, lo cual es importante en terreno montañoso como es el que se presenta en las sierras.
- Otra característica asociada con la transmisión es la capacidad de ascenso del vehículo, ya que una transmisión mal seleccionada cuando la unidad se encuentra a plena capacidad de carga, puede hacer que el régimen del motor disminuya al grado de no permitir el avance del vehículo.

Existen transmisiones con sobremarcha (*overdrive*) que permiten operar al vehículo dentro de la velocidad crucero, controlando la velocidad del motor más eficientemente.

El uso de la sobremarcha se está haciendo de uso común para las operaciones de los vehículos basadas en la disminución de la carga de la unidad en regresos en vacío o parcialmente cargados. Naturalmente, una velocidad límite es deseable bajo estas condiciones, sin sacrificar la máxima potencia desarrollada en las máximas r.p.m. del motor. El rango de las relaciones de la sobremarcha se encuentra entre 0.6:1.0 y 0.8:1.0, que proporcionan una velocidad del vehículo mayor en relativamente bajas r.p.m. del motor.

La sobremarcha no deberá ser usada como un cambio operando bajo condiciones de cargas normal y condiciones normales de operación. La vida de una transmisión se ve afectada por el uso inadecuado de la sobremarcha como es el caso de operación con cargas pesadas o en combinación con la relación del diferencial bajo. Se recomienda el uso de la sobremarcha solamente cuando se puedan mantener altas velocidades del vehículo y el motor pueda sostenerlas.

Por lo anterior y sabiendo que el tren motriz es un sistema dinámico en el que los elementos están íntimamente relacionados, se infiere que el elemento que proporciona las características de operación más importantes del vehículo es la transmisión, por esta razón se le considera como base de la selección del tren motriz.

### **3.2.4 Diferencial**

En la selección del diferencial es conveniente considerar los siguientes factores:

- Combinación del peso vehicular.
- Tipo de terreno.
- Velocidad de desplazamiento.
- Tamaño de las llantas.
- Relación requerida del eje (diferencial).
- Relaciones de la transmisión.
- Torque del motor.
- Velocidad del motor.
- Mantenimiento.
- Tipo de manejo.

Se debe considerar el acoplamiento del diferencial con las diferentes relaciones de la transmisión, complementando a cada una y aprovechar de esta forma la potencia disponible del motor para el desempeño del vehículo.

La consideración del peso vehicular, normalmente es para seleccionar la relación de engranes apropiada para alcanzar la velocidad límite bajo condiciones de carga. La velocidad óptima de operación (velocidad crucero), deberá ser también una base para determinar el requerimiento de la potencia para el vehículo cargado.

La velocidad crucero es alcanzada a través del acelerador sin un cambio de engranes. La reducción de las r.p.m. del motor permite utilizar menos potencia, lo que conlleva a operar al motor dentro o cerca del rango de economía de combustible del motor. Cuando un motor se opera dentro del rango económico no solamente se reducen los costos de mantenimiento y operación, sino que se asegura prolongar la vida del motor.

La combinación transmisión-diferencial debe producir pasos de engranes cerrados a través del período de aceleración y asegurar un eficiente desempeño bajo todas las condiciones del camino, y generalmente con el peso vehicular máximo.

Lo que se necesita conocer del diferencial es la relación corona/piñón, esto es el paso del diferencial, que determina la reducción del movimiento que es transmitido a las ruedas motrices.

La reglamentación establecida para el control de la velocidad para vehículos con motores a diesel, fija el paso del diferencial para los vehículos de carga y de pasajeros. Sin embargo, resulta que la gama permitida es muy corta, además de que ya no concuerda con la tecnología actual. En particular, el aumento de la potencia y del torque de los motores, con un paso de diferencial legal, obliga a operar el motor en un número elevado de revoluciones por minuto, por lo general superiores a las 2000 r.p.m., para alcanzar las velocidades máximas permitidas.

La práctica común de manejar con el acelerador hasta el fondo, se traduce en tener revoluciones cercanas a 2100 r.p.m., con los mismos pasos reglamentarios de diferencial, para poder lograr velocidades altas, lo que ocasiona un desgaste prematuro del motor.

### 3.2.5 Llantas

Las llantas son los elementos de la cadena cinemática que tienen contacto con la carretera, soportando todo el peso del vehículo a la vez que permiten su movimiento, por lo que para conocer la velocidad que puede desarrollar el vehículo es necesario conocer el desplazamiento de la llanta cuando da un giro completo; este desplazamiento depende del tamaño de la llanta.

El tamaño de las llantas está condicionado principalmente por la distancia entre el suelo y el chasis del vehículo, ya que dependiendo de esta distancia se puede aumentar o disminuir el efecto de suelo que produce la depresión del aire debajo del vehículo. El tamaño de una llanta se encuentra marcado con números y letras sobre el mismo neumático.

Se puede considerar, a manera de ejemplo, una llanta que tiene grabado lo siguiente: 315/75 R 24.5

De la nomenclatura lo que nos interesa principalmente es:

- El ancho de sección o ancho de piso; en el ejemplo sería 315
- El diámetro del rin; en el ejemplo sería 24.5
- La serie; en el ejemplo sería 75

Con el ancho de sección y la serie se determina la altura de la cara. Si la llanta no tiene número de serie, se supone que el ancho de sección es la altura de la cara. De otra forma al tener un número de serie, éste representa el porcentaje del ancho de sección que será entonces la altura de la cara.

Para determinar el perímetro de una llanta se debe de multiplicar el diámetro de la llanta por la constante Pi (3.1416). El diámetro de la llanta será dos veces el ancho de la cara más el diámetro del rin.

$$P_{ll} = d_{ll} \times 3.1416 \quad (13)$$

Donde:

$P_{ll}$  = Perímetro de la llanta

$d_{ll}$  = diámetro de la llanta

3.1416 = constante

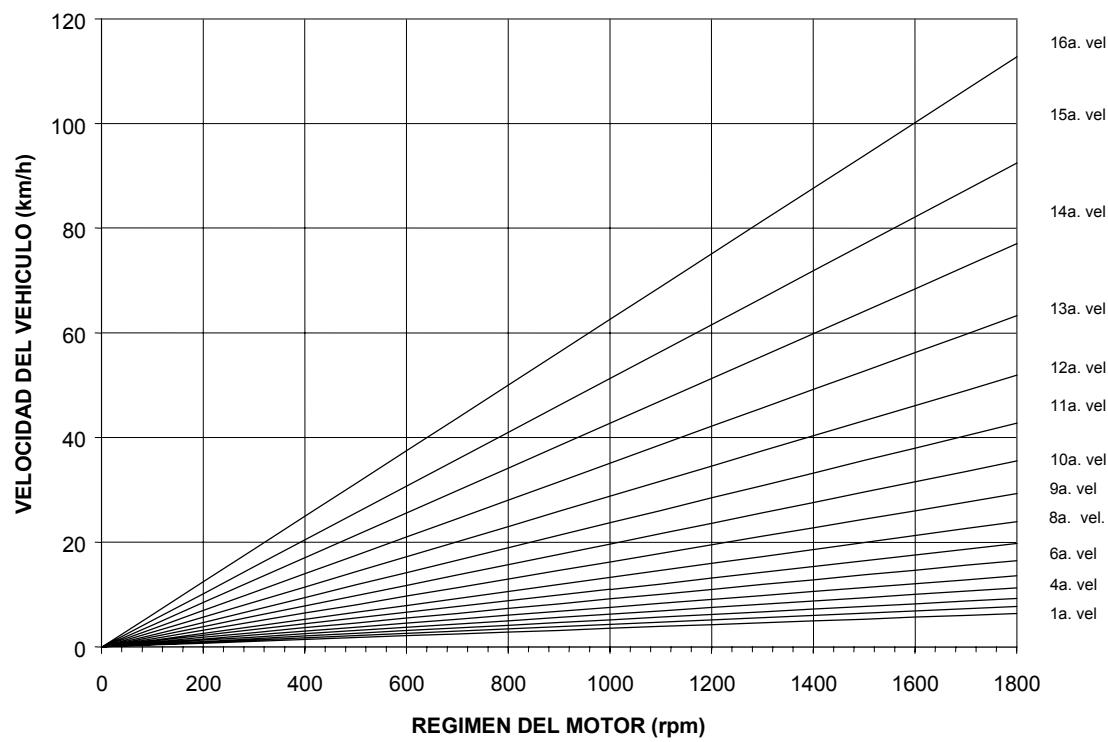
La selección de la configuración de los ejes motrices es importante por su aplicación ya que según el tipo de terreno (pavimento, terracería, arena, etc.) se puede transmitir la fuerza motriz a varios ejes.

Se ha clasificado el número de llantas con relación al número de ejes, considerando que son dos llantas por eje. En el caso de un vehículo que tiene un eje motriz se denominará 4x2 (4 llantas al suelo y dos llantas con fuerza de tracción). Por lo que se extiende esta nomenclatura a todos los vehículos, por ejemplo, un tractocamión de tres ejes que tiene dos ejes motrices se llamaría 6x4.

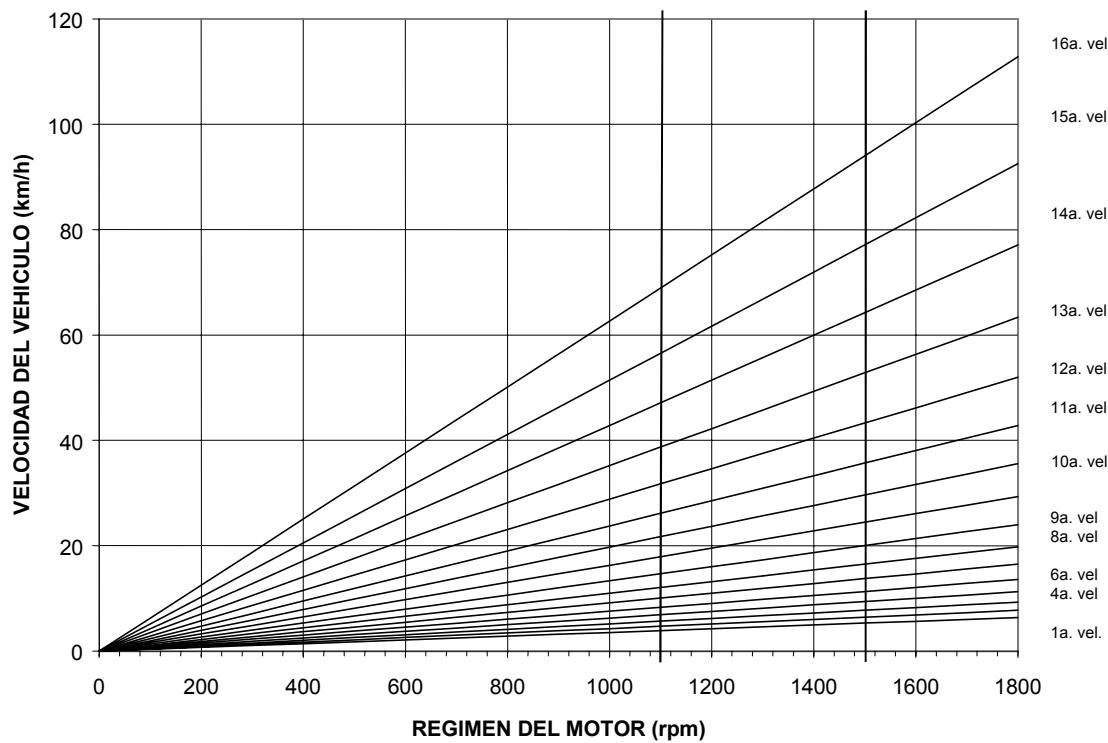
Es importante tener en consideración el enfriamiento en el sistema de frenado, ya que un calentamiento excesivo de las balatas provocará que las llantas se deterioren más rápido.

La combinación de los elementos del tren motriz descritos en los párrafos anteriores, permiten elaborar un diagrama de velocidades, en donde se puede observar la velocidad máxima que puede desarrollar el vehículo, cuando se utiliza cada una de las relaciones de la transmisión en el régimen del motor en donde se tiene la potencia máxima.

En la figura 3.4 se presenta un ejemplo de diagrama de velocidades, para un vehículo con un tren motriz integrado por: motor electrónico de 435 HP; transmisión de 16 velocidades; paso de diferencial de 4.33 y llantas 11 R 24.5. En la figura 3.5 se presenta el mismo diagrama de velocidades, en el cual se presenta la zona óptima de manejo para obtener ahorro de combustible.



**Figura 3.4 Diagrama de Velocidades de un vehículo equipado con:  
Motor N14 435 E; Transmisión Spicer TSPO 155-16 HP;  
Paso de Diferencial 4.33 y llantas 11.00 R 24.5**



**Figura 3.5 Diagrama de Velocidades con Zona de manejo económico (zona verde) del vehículo equipado con: Motor N14 435 E; Transmisión Spicer TSPO 155-16 HP; Paso de Diferencial 4.33; Llantas 11.00 R 24.5**

### **3.3 Fuerzas que se Oponen al Movimiento de un Vehículo**

Un criterio importante en la selección vehicular que incide directamente en la selección del tren motriz, es la definición de la ruta más crítica que se tiene o prevé durante el recorrido para la operación del vehículo, este aspecto es indispensable ya que tanto el estado de la carretera como los porcentajes de pendientes máximas, son factores que inciden fuertemente en la potencia que se requiere del motor.

La potencia máxima del motor que se requiere, está basada en el cálculo de la magnitud de las fuerzas que tiene que vencer el vehículo para su desplazamiento. Por lo que desde el punto de vista del consumo de combustible, una buena selección del vehículo es la que permite disminuir el valor de dichas fuerzas.

Se consideran principalmente cuatro fuerzas que tiene que vencer el vehículo para su avance, siendo éstas las siguientes:

- La fuerza aerodinámica.
- La fuerza por pendiente.
- La fuerza de resistencia al rodamiento.
- La fuerza de inercia.

#### **3.3.1 Fuerza aerodinámica (oposición del aire al avance de un cuerpo)**

Esta fuerza influye directamente sobre el movimiento del vehículo a través del aire, siendo la fuerza de arrastre, que tiene dirección horizontal y sentido contrario al movimiento, la que principalmente opone la resistencia al movimiento.

La fuerza de arrastre es proporcional a la velocidad del vehículo y proporcional a la superficie frontal que presenta la unidad a la resistencia del aire. Es por esto, que a mayor velocidad, la fuerza necesaria para vencer esta resistencia crece drásticamente, lo que explica porqué los fabricantes buscan mejorar el coeficiente de penetración en el aire de los vehículos.

La fuerza de arrastre se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Fa = 0.5 \cdot Ca \cdot R_0 \cdot S \cdot v^2 \quad (14)$$

siendo:

$Fa$  = Fuerza de arrastre aerodinámico [N]

$Ca$  = Coeficiente de arrastre

$R_0$  = densidad del aire, aproximadamente 1,2 [kg/m<sup>3</sup>] (a una temperatura de 20°C y una presión atmosférica de 1.016 bar)

$S$  = área frontal del vehículo

$V$  = Velocidad del vehículo

La fuerza aerodinámica tiene un mayor impacto cuando el vehículo transita por carreteras o autopistas la mayor parte del tiempo. Es por esto que para reducir esta fuerza, cuando se selecciona un vehículo, es conveniente tomar en consideración la parte frontal que debe tener una tendencia a presentar un área frontal mínima con un perfil aerodinámico.

En la tabla 3.1 se presentan algunos valores del coeficiente de arrastre para diferentes tipos de vehículos:

**Tabla 3.1 Coeficiente de arrastre**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Coeficiente de arrastre</b>
madrinas, jaulas y bultos	0,95
remolque doble, triple y plataformas	0,85
vehículo normal	0,76
con algunos aditamentos para desviar el aire	0,68
con todos los aditamentos para desviar el aire	0,61

### **3.3.2 Fuerza por pendiente (atracción de la gravedad de la tierra)**

La resistencia por pendiente es la fuerza de oposición que se ejerce sobre el vehículo por el efecto de la atracción terrestre. Esta fuerza es proporcional al seno del ángulo formado entre la carretera y una línea horizontal y al peso total de la unidad. Nada se puede hacer para vencer esta fuerza. Por lo tanto, se requiere de una fuerza equivalente, suministrada por el motor, para vencerla y permitir el avance de la unidad, esta fuerza se calcula con la fórmula:

$$F_p = W \cdot \operatorname{sen}(\alpha) \quad (15)$$

donde:

$F_p$  = Fuerza debido a la pendiente, [N]

$W$  = peso del vehículo, [kg]

$\alpha$  = ángulo entre la pendiente y el plano horizontal, [ ° ]

Si el ángulo alfa es cero la fuerza por pendiente será cero.

### 3.3.3 Fuerza de resistencia al rodamiento (fricción de las llantas sobre la carretera)

Las llantas al rodar sobre el piso producen un efecto conocido como fricción, el cual produce una resistencia al rodamiento. Esta fuerza depende del peso total de la unidad y de la presión de inflado de las llantas, así como de su coeficiente de deformación. Es por esto que ha aumentado el uso de las llantas radiales cuyo reparto uniforme de la presión de inflado garantiza minimizar el coeficiente de fricción en la carretera y como consecuencia, la fuerza de rodamiento, la cual se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$Fr = K \cdot W \cdot \cos(\alpha) \quad (16)$$

donde:

$Fr$  = Fuerza de rodamiento, [N]

$K$  = coeficiente de resistencia al rodamiento, [ $\text{kg}_f/\text{kg}$ ]

$W$  = peso del vehículo, [kg]

$\alpha$  = ángulo entre la pendiente y el plano horizontal, [ $^\circ$ ]

### 3.3.4 Fuerza de inercia (resistencia de un cuerpo a moverse debido a su masa)

La resistencia por inercia se debe a un fenómeno físico conocido como la inercia de los cuerpos en rotación. Esto significa que varias partes de la cadena cinemática (árbol de leva y cigüeñal, disco de embrague, árbol de transmisión, etc.) tienen una inercia proporcional a su masa que tiende a frenar su propio movimiento de rotación. Es la razón por la cual los fabricantes de motores desarrollan investigaciones para reducir la masa relativa de estas partes, lo que mejora sensiblemente el rendimiento de los motores.

Esta fuerza se determina mediante la siguiente fórmula:

$$F_i = m \cdot a \cdot (1,04 + 0,06/r_t^2) \quad (17)$$

donde:

$F_i$  = Fuerza de inercia, [N]

$m \cdot$  = masa del vehículo, [kg]

$a$  = aceleración del vehículo, [ $m/s^2$ ]

$r_t$  = relación de paso de la transmisión

Esta fuerza tiene gran importancia en ciclo urbano, ya que genera un alto consumo de combustible.

### 3.3.5 Determinación de la potencia requerida al motor

La suma de las fuerzas antes mencionadas da como resultado una fuerza total, denominada fuerza resultante ( $F$ ) que al multiplicarla por la velocidad promedio ( $V$ ) de recorrido del vehículo nos proporciona la potencia ( $P$ ) requerida al motor para permitir el avance de la unidad, esto es:

$$F = F_a + F_p + F_r + F_i \quad (18)$$

$$P = F \times V \quad (19)$$

donde:

$P$  = Potencia requerida [HP]

$F$  = Fuerza resultante [N]

$V$  = Velocidad promedio [ $m/s$ ]

En forma práctica, se calcula la potencia requerida para las condiciones más severas de recorrido (peso máximo y pendiente máxima), para una velocidad promedio determinada y de esta forma determinar la potencia requerida al motor. Es útil aumentar la potencia que se obtuvo en los cálculos en un 15% por ciento, para disponer de una reserva de potencia, ya que la potencia indicada por los fabricantes de motores norteamericanos no considera la potencia adicional requerida para hacer funcionar los auxiliares y accesorios del vehículo, lo que sí se considera por parte de los fabricantes europeos.

### 3.3.6 Demanda de potencia de equipos auxiliares

Por lo general es conveniente conocer la potencia que demandan los equipos auxiliares, ya que ésta impacta directamente en la especificación de la potencia del motor, lo que repercute directamente en el rendimiento final del motor. A continuación se presenta una estimación general de la demanda para algunos equipos auxiliares, en términos del porcentaje de la potencia total.

Aire acondicionado	=	1.4 %
Bomba de agua y compresor de aire	=	3.7 %
Ventilador (en trabajo discontinuo)	=	4.2 %
Ventilador (en trabajo continuo)	=	7.0 %
Potencia eléctrica	=	3.8 %

Hay que señalar que la demanda de la potencia eléctrica representa la potencia equivalente de los Watts que en promedio consumen los focos eléctricos necesarios tales como: faros, direccionales, de frenos, de remolque, de cabina, de tablero; hay que considerar que cada foco excedente representa en promedio 45 W, esto es 0.06 HP.

## 3.4 Características que proporciona el tren motriz

### 3.4.1 Desempeño del vehículo

#### 3.4.1.1 Capacidad de arranque del vehículo (*startability*)

La *startability* es la pendiente máxima en la que el vehículo puede iniciar la marcha sin menoscabo de su desempeño, se expresa en porcentajes. Para calcular la capacidad de arranque se utiliza la siguiente ecuación (18):

$$S = (T_m \cdot P_d \cdot P_{t1} \cdot R_v) / (10.7 \cdot PBV) \quad (20)$$

donde:

S = Capacidad de arranque en pendiente (*startability*)

T<sub>m</sub> = Torque máximo del motor

P<sub>d</sub> = Paso del diferencial

P<sub>t1</sub> = Paso de la transmisión en la primera velocidad

R<sub>v</sub> = Revoluciones de la llanta

PBV = Peso Bruto Vehicular

#### 3.4.1.2 Capacidad de ascenso del vehículo (*gradeability*)

La habilidad de ascenso del vehículo o *gradeability* es la medida del compromiso entre una pendiente específica y el peso bruto vehicular. La ecuación (15) permite calcular la *gradeability*:

$$G = (37.5 \cdot P_r) / (PBV \cdot 10^{-3} \cdot V_a) \quad (21)$$

donde :

G = Habilidad de ascenso en pendiente (*gradeability*)

Pr = Potencia de reserva

Va = Velocidad aparente

Pr está definido por:

$$Pr = P - (Prr + Pra + Pri) \quad (22)$$

donde :

P = Potencia del motor

Prr = Potencia para vencer la resistencia al rodamiento

Pra = Potencia para vencer la resistencia aerodinámica

Pri = Potencia para vencer la resistencia de inercia

Los demás parámetros están definidos por las siguientes ecuaciones:

$$Prr = Va \cdot (7.69 \cdot Va) (PBV \cdot 10^{-3} / 375) \quad (23)$$

$$Pra = [ 0.002 \cdot Va^3 \cdot (h - 0.75)(w) ] (fa / 375) \quad (24)$$

donde:

h = Altura del vehículo

w = Ancho del vehículo

fa = Factor de altitud

$$fa = (-2464.7110^{-8} \cdot a) + 9873.5310^{-4} \quad (25)$$

$$Pri = (nM \cdot PBV) + nB \quad (26)$$

donde:

$nM, nB$  = Coeficientes de ajuste para la potencia

$$V_a = (D \cdot rpm) / (P_d \cdot Pt_1 \cdot 336) \quad (27)$$

donde:

$D$  = Diámetro de la llanta

r.p.m. = Régimen del motor en potencia máxima

### **3.4.1.3 Criterios de *startability* y *gradeability* aceptables**

Una vez que la relación de la transmisión ha sido seleccionada, la velocidad de crucero del vehículo puede ser calculada mediante la ecuación 8 utilizando la relación de la primera velocidad de la transmisión. Conociendo el régimen de operación del motor, la relación del eje y el diámetro de las llantas, la velocidad calculada nos permitirá obtener la habilidad de ascenso a la velocidad determinada.

Para el caso de un camión de carga que puede ser utilizado en todo tipo de camino, una capacidad máxima de ascenso en pendientes de 30% es satisfactoria. Por lo tanto, se puede considerar como regla general, que para poder iniciar la marcha en una pendiente de inclinación  $x\%$ , la capacidad máxima de ascenso del vehículo, una vez que ha iniciado la marcha, deberá ser de  $(x+5)\%$ . Por lo que una capacidad de arranque a plena carga en una pendiente de 25% es satisfactoria.

### **3.4.2 Velocidad máxima**

El tren motriz debe de proporcionar una velocidad de desplazamiento máxima, de acuerdo con los límites establecidos por las autoridades, esto de acuerdo con el tipo de servicio al que esta destinada la unidad ya sea, carga o pasajeros.

Los límites de velocidad establecidos en los caminos de jurisdicción federal son:

- Servicio de carga, camiones y tractocamiones: 80 km/h + 15 km/h para maniobras de rebase, con una relación final del diferencial de 4.63:1 o mayor en el caso de que la transmisión sea directa, y de 5.29:1 si la transmisión tiene sobremarcha, con rodada máxima de 1100 x 22
- Servicio de pasajeros: debido a que este servicio se puede realizar a través de dos tipos de unidades diferentes se ha establecido lo siguiente:
  - Para el servicio de pasajeros que se realiza a través de autobuses integrales se ha establecido una velocidad de 95 km/h + 15 km/h para maniobras de rebase, con una relación final del diferencial de 4.11:1 o mayor con rodada máxima de 1100 x 22.
  - Para el servicio en autobuses convencionales la velocidad normal de operación que podrá desarrollar el vehículo es de 80 km/h + 15 km/h para maniobras de rebase, con una relación final del diferencial de 4.63:1 o mayor en el caso de que la transmisión sea directa, y de 5.29:1 si la transmisión tiene sobremarcha, con rodada máxima de 1100 x 22

### **3.4.3 Economía de combustible**

La selección adecuada de los componentes del tren motriz, permitirá alcanzar la velocidad normal de operación del vehículo antes señalada, en un régimen de operación del motor en donde se tenga el menor consumo específico de combustible, además de un buen desempeño del motor, además, es necesario realizar todos los cambios de velocidades de la transmisión dentro del rango de revoluciones del motor en donde se tenga el consumo mínimo de combustible.

De estudios realizados en empresas de autotransporte ha quedado demostrado que el consumo de combustible de los vehículos se ve

afectado de manera importante por la forma de manejo del operador. Sin embargo, en este contexto se han estado implementando una serie de medidas para incrementar la eficiencia del uso del combustible en los vehículos, por medio de una utilización óptima de los componentes del tren motriz.

## 3.5 Selección del Tren Motriz de Acuerdo al Tipo de Carreteras

### 3.5.1 Carreteras planas o autopistas

Para seleccionar un tren motriz de manera óptima para vehículos que circulan el mayor tiempo sobre carreteras planas o autopistas, se tendrá que recurrir a la siguiente ecuación que permite calcular la velocidad del vehículo en función del régimen del motor, del tamaño de las llantas, de las relaciones de la caja y del paso del diferencial.

La ecuación que nos relaciona todos los factores involucrados en la cadena cinemática es:

$$V = (N \cdot P_{ll} \cdot 60) / (1000 \cdot R_c \cdot R_d \cdot R_e) \quad (28)$$

donde:

$V$  = Velocidad del vehículo [km/h]

$N$  = régimen del motor [r.p.m.]

$P_{ll}$  = Perímetro de la llanta [m]

$R_c$  = Relación de la velocidad de la caja

$R_d$  = Relación (paso) del diferencial

$R_e$  = Relación de los ejes (se considera 1 sino existe)

Si no se cuenta con la información respecto a las relaciones de la caja  $R_c$  y el paso del diferencial  $R_d$ , se tendrán que despejar estas relaciones de la ecuación antes señalada (ecuación 26), ya que estos elementos son elementos desmultiplicadores del régimen del motor y no se pueden considerar de forma separada.

Hay que tomar en consideración que tanto las relaciones de caja como el paso de diferencial adecuado, permitirán al operador alcanzar con la última relación de caja y sobre carreteras planas o autopistas una velocidad que corresponda al límite legal establecido, permitiendo al motor girar alrededor del régimen de consumo mínimo y además subir las pendientes más pronunciadas con una velocidad aceptable.

La relación para determinar los valores de  $R_c$  y  $\cdot R_d$  será:

$$R_c \cdot R_d = (N \cdot P_{II} \cdot 60) / (1000 \cdot V) \quad (29)$$

donde:

$R_c$  = Relación de la velocidad de la caja

$R_d$  = Relación (paso) del diferencial

$N$  = régimen del motor [r.p.m.]

$P_{II}$  = Perímetro de la llanta [m]

$V$  = Velocidad del vehículo [km/h]

La relación de los ejes  $R_e$  para este caso se considera con un valor de uno.

El producto de  $R_c \cdot R_d$  nos proporciona una infinidad de combinaciones posibles, las cuales se reducen debido a las ofertas que proporcionan los proveedores de transmisiones y diferenciales en el mercado, por lo que se podrá llegar a una aproximación lo más cerca posible de la combinación óptima, que permita la operación del vehículo en el régimen del motor en el que se obtenga este consumo mínimo; debido a lo cual este producto desempeña un papel importante en el cálculo donde se involucra la selección de los componentes del tren motriz.

Una vez que se tienen determinados todos los factores antes señalados, es conveniente realizar un diagrama de velocidades que

permite observar el comportamiento de la velocidad del vehículo en función de cada relación de la caja. La velocidad del vehículo, para una relación de caja, es proporcional a las revoluciones (r.p.m.) a las que gira el motor, por lo que al realizar la gráfica de los valores correspondientes se tendrá una línea recta para cada relación de la caja de velocidades.

Los componentes del tren motriz serán los adecuados si en el diagrama de velocidades se logra la velocidad límite reglamentaria en el régimen del consumo mínimo.

### **3.5.2 Carreteras con pendientes**

Si se tiene ya configurado el tren motriz del vehículo, se puede conocer cual sería el grado de pendiente máximo que podría subir este vehículo, tomando en consideración el rango de consumo mínimo óptimo establecido.

Por lo que para determinar la pendiente máxima que se podría subir, es necesario observar el diagrama de velocidades en los primeros cambios, para establecer la velocidad y el régimen del motor dentro de la zona de consumo mínimo, así como determinar la potencia disponible. Con estos valores aplicados a las fórmulas de cálculo de las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo, antes mencionadas, conduce al establecimiento del grado de pendiente máximo que puede el vehículo remontar.

Como se ha señalado, la selección del tren motriz se puede considerar como un problema de optimización de una función económica bajo ciertas restricciones. Esto es, se requiere identificar las características técnicas del vehículo, cumpliendo el marco legal y normativo, por lo que es necesario que el transportista cuente con herramientas que le ayuden a seleccionar y analizar técnicamente el desempeño del tren motriz de los vehículos que tiene que adquirir, ya sea por renovación o por reposición de las unidades. Es por esto que el Instituto Mexicano del Transporte ha desarrollado un programa de cómputo que permite realizar la selección y evaluación del tren motriz, tanto de un vehículo

nuevo como de uno usado, tomando en consideración la normatividad que existe en México para limitar velocidad, pesos y dimensiones.

El programa diseñado considera además la evaluación de las capacidades de arranque y ascenso en pendientes del vehículo, la visualización de la zona óptima de operación del motor para reducir el consumo de combustible, orientando al transportista en la reconstrucción de trenes motrices, si así se considera conveniente.

Este programa puede ser de utilidad para evaluar unidades que se importen de otros países, ya que se ha tenido la experiencia de que las unidades importadas al inicio de las operaciones del servicio de pasajeros de lujo, presentaron fallas en el tren motriz durante su operación, debido a que no se tomó en cuenta que estos vehículos fueron diseñados para condiciones geográficas diferentes a las que se presentan durante su operación en nuestro país.

## **4. Programa de Selección del Tren Motriz**

---

### **4.1. Algoritmo Del Programa De Selección Del Tren Motriz**

El programa de cómputo diseñado para la selección del tren motriz cuenta con la información de cada uno de los componentes del mismo, disponible en el mercado nacional, tal como modelos y potencias de los motores, tipos de transmisiones con sus correspondientes relaciones de velocidad, pasos de diferencial y modelos de llantas.

El programa está concebido de tal forma que le permite al usuario actualizar las bases de datos de manera continua, permitiendo obtener una aproximación lo más cercana posible al comportamiento real del vehículo, considerando la eficiencia energética de la unidad.

Los acciones que realiza el programa son:

- 1.- Con el dato del peso bruto vehicular y el tipo de camino a transitar, se selecciona un vehículo tomando en cuenta el reglamento de pesos y dimensiones, determinando a la vez, el número de ejes y el número de llantas.
- 2.- Con base en lo anterior, se procede a seleccionar las llantas del vehículo, considerando la capacidad de carga de las mismas, su número y el peso bruto del vehículo. La información se encuentra en una base de datos denominada “llantas” y que el usuario puede mantener actualizada.
- 3.- Considerando la resistencia aerodinámica del vehículo, así como su peso bruto vehicular, se estima una potencia mínima calculada, para que el programa realice la primera iteración y posteriormente seleccione las opciones más convenientes para el tren motriz.

- 4.- Se selecciona la transmisión de acuerdo al peso bruto vehicular y al torque nominal de entrada. Esta transmisión se selecciona de una base de datos denominada “transmisión”.
- 5.- Una vez determinada la transmisión, se seleccionará un motor con base en el par-motor máximo que soporta la transmisión y con el peso bruto vehicular. Con estos tres elementos del tren motriz: llantas, transmisión y motor, se calcula el paso del diferencial y se selecciona éste de la base de datos “diferencial” en combinación con la base de datos “motor”.
- 6.- Una vez seleccionado el motor y el tren motriz, se calcula la capacidad de arranque en pendiente ascendente del vehículo (startability).
- 7.- Se determina la potencia de reserva requerida por la unidad para su desempeño en pendientes ascendentes, considerando el peso bruto vehicular, así como la habilidad de ascenso del vehículo (gradeability).
- 8.- Se calcula el torque necesario para que el vehículo cumpla con la capacidad de arranque en pendiente. De no cumplirse con los criterios de arranque en pendiente, se calcula nuevamente el torque para iniciar otra iteración.
- 9.- Al final, el programa presenta un resumen gráfico tanto del desempeño del tren motriz en su conjunto, como de la habilidad de ascenso. Presenta también un diagrama de velocidades del vehículo seleccionado, indicando la velocidad máxima alcanzable en el régimen de operación a potencia máxima gobernada del motor.

## 4.2 Módulos Del Programa

### Entrada de datos

El primer paso es proporcionar el peso bruto vehicular, tipo de camino a transitar, alto y ancho de la unidad. Dando lugar a la primera selección del vehículo, tomando en cuenta el reglamento de pesos y

dimensiones, determinando el número de ejes y el número de llantas. El peso bruto vehicular que exceda las disposiciones establecidas en el reglamento, es rechazado.

### **Selección de llantas**

Con la primera selección del vehículo se procede a seleccionar las llantas, considerando la capacidad de carga de las mismas, su número y el peso bruto vehicular. El modelo toma en cuenta que cada una de ellas soporta un peso igual entre todas, y que sólo estará cargada el 80%, de su capacidad de carga con el fin de prolongar su vida útil.

### **Selección de la transmisión**

La transmisión se selecciona de acuerdo al peso bruto vehicular de la unidad y al torque nominal de entrada. Esta transmisión se selecciona de una base de datos denominada “transmisión”.

### **Selección del motor**

Para la selección del motor se considera como primera aproximación la potencia necesaria para mover la unidad y para vencer la resistencia aerodinámica del área frontal del vehículo, esta relación se expresa en la ecuación 30. Esta aproximación forzará a una primera iteración para encontrar un motor de capacidad adecuada, haciendo que en cada ciclo se incremente la potencia del motor con el fin de no seleccionar un motor demasiado grande que implique mayor peso vehicular de la unidad. El motor se selecciona de acuerdo a la capacidad torsional de la transmisión y su potencia debe ser mayor a la potencia estimada anteriormente.

$$P_e = 12.03 A + 2.033 PBV \quad (30)$$

donde:

$P_e$  = Potencia estimada.

A = Área frontal del Vehículo.

PBV = Peso Bruto Vehicular.

### Selección del diferencial

Con la ecuación 31 se calcula el paso del diferencial, el resultado de esta fórmula proporciona una relación de paso cercana a las comerciales, que puede utilizarse para alcanzar la máxima velocidad permitida, dentro del área de mínimo consumo específico de combustible.

$$P_d = 60 C_{ll} (R_{cm} + 200) / 1000 P_u V_r \quad (31)$$

donde:

$P_d$  = Relación de paso del diferencial.

$C_{ll}$  = Circunferencia de la llanta.

$R_{cm}$  = Régimen de consumo mínimo de combustible del motor.

$P_u$  = Relación de paso del último engrane de la transmisión.

$V_r$  = Velocidad reglamentaria de circulación.

Cuando se cumple el criterio de velocidad máxima legal, dentro del rango de mínimo consumo de combustible del motor seleccionado, se procede a comprobarlo por medio del despeje de  $V_r$  de la ecuación 2. El límite de velocidad para autobús es de 95 km/h y para transporte de carga de 80 km/h, en ambos casos existe una tolerancia de, más 15 km/h para maniobras de rebase.

## Cálculo de la capacidad de arranque en pendiente (*startability*)

Posteriormente se evalúa la capacidad de arranque del vehículo, de acuerdo con la ecuación 32. La capacidad de arranque se expresa en porcentaje y el óptimo se considera de 25% debido a las condiciones geográficas del país; en caso de no cumplir con este criterio se calcula el torque necesario para cumplirlo y se inicia otro ciclo.

$$S = (T P_d P_1 R_{\parallel}) / PBV \quad (32)$$

donde:

$S$  = Capacidad de arranque.

$T$  = Torque máximo del motor.

$P_d$  = Relación de paso del diferencial.

$P_1$  = Relación de paso de la primera velocidad.

$R_{\parallel}$  = Revoluciones por kilómetro de la llanta.

$PBV$  = Peso bruto vehicular.

Al cumplirse el criterio de capacidad de arranque, se procede a evaluar la potencia de reserva del motor de acuerdo a la norma SAE J688, en caso de que la reserva sea igual a cero se iniciará otro ciclo.

## Cálculo de la capacidad de ascenso en pendiente (*gradeability*)

Al existir reserva de potencia, se calcula la capacidad de ascenso del vehículo a plena carga, de acuerdo a la norma SAE J688. Cabe señalar que esta norma no considera los pesos utilizados en el país, por lo que fue necesario adaptarla a las condiciones promedio de altura y ajustar los datos que proporciona la norma en la tabla número 7 (pérdida de potencia por inercia de las partes en rotación). Los datos se ajustaron de acuerdo a las ecuaciones 33, 34, 35 y 36. Los coeficientes de correlación varían entre 0.94910 y 1.00000, por lo que se consideró aceptable el ajuste.

$$P_{pi} = m \cdot PBV + b \quad (33)$$

$$m = P_{piM} - b \cdot PBV_M \quad (34)$$

$$b = (n \sum x_i P_{pi} - \sum x_i \sum P_{pi}) / (n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2) \quad (35)$$

$$r = \sum (P_{pi} - b - m x_i)^2 - (P_{piM} - P_{pi})^2 / \sum (P_{pi} - b - m x_i)^2 \quad (36)$$

donde:

$P_{pi}$  = Pérdida de potencia por inercia.

$m$  = Constante.

$PBV$  = Peso bruto vehicular.

$b$  = Constante

$P_{piM}$  = Promedio de las pérdidas de potencia

$PBV_M$  = Promedio de los pesos brutos vehiculares

$x_i$  = Peso bruto vehicular expresado en la tabla 7 de la norma SAE J688

$P_{pi}$  = Pérdida de potencia por inercia expresada en la tabla 7 de la norma SAE J688.

$n$  = Número de pares de variables.

$r$  = Coeficiente de correlación

$i$  = 1...n

$\Sigma$  = Indica la sumatoria desde el par 1 al n.

El criterio de capacidad de ascenso se fija de acuerdo con el documento SAE SP-363 "Principles and design of mechanical truck transmissions", en donde se establece como regla que para iniciar la

marcha en una pendiente de inclinación  $x\%$ , la capacidad máxima de ascenso del vehículo ya arrancado deberá ser de  $(x+5)\%$ .

Considerando que algunos camiones son utilizados en caminos no pavimentados en condiciones extremas de oposición a la rodadura y con pendientes fuera de toda especificación, es conveniente la elección recomendada de una capacidad máxima de ascenso a plena carga del 30%, o sea una capacidad de arranque a plena carga de 25%. Es pertinente hacer notar que esta elección es un compromiso en el que, favoreciendo aquellos camiones que circulen en condiciones extremas, se decide por todos los demás, eliminando con ello otras posibilidades hipotéticas de mayor rendimiento en otras unidades. En caso de no cumplir este criterio se selecciona un motor de mayor potencia para iniciar otra iteración.

### **4.3 Características del programa**

El programa permite analizar el efecto de la sobrecarga del vehículo con respecto a su capacidad de ascenso y arranque en pendiente, observándose una relación casi lineal entre el aumento de la carga y la disminución de la capacidad de ascenso. Esto, junto con los reglamentos correspondientes, permitirá establecer a las empresas los criterios para sobrecargar o no la unidad de acuerdo con la ruta de operación más frecuente.

El programa permite también hacer un análisis del comportamiento del tren motriz con respecto al consumo de combustible, al presentar los diagramas de velocidades con la zona óptima de operación correspondientes a las diferentes configuraciones del tren motriz que el usuario final desee para el tipo de operación.

Este programa puede ser de utilidad para evaluar unidades que se importen de otros países, ya que se ha tenido la experiencia de que las unidades importadas al inicio de las operaciones del servicio de pasajeros de lujo presentaron fallas en el tren motriz durante su operación, debido a que no se tomó en cuenta que estos vehículos

fueron diseñados para condiciones geográficas diferentes a las que se presentan durante su operación en nuestro país.

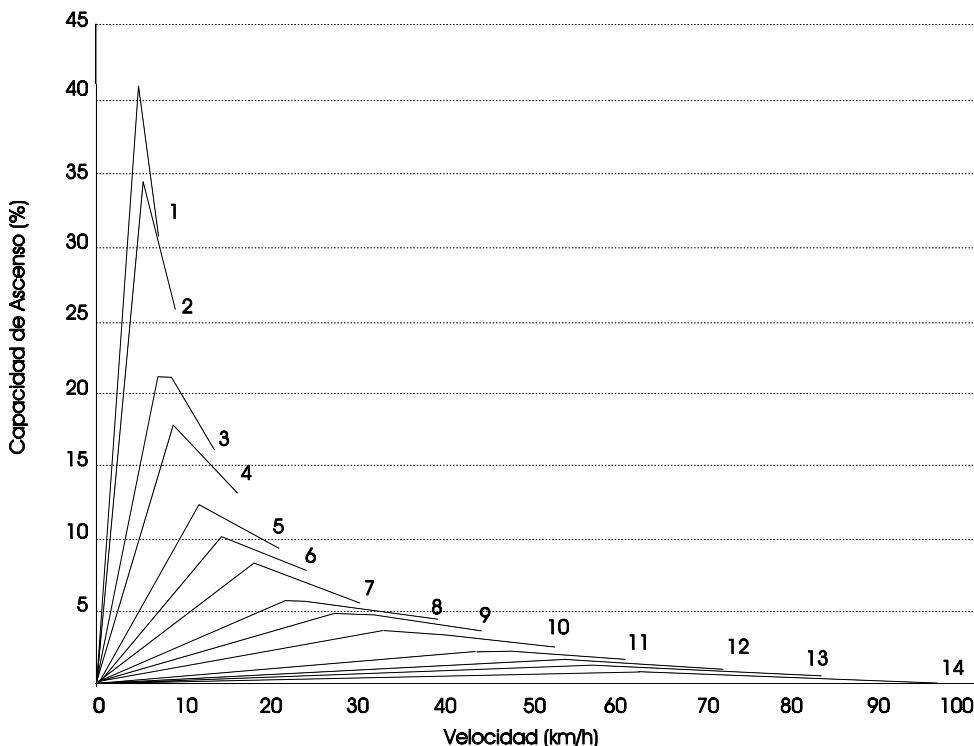
De lo observado a través de simulaciones realizadas con el programa de *Selección del tren Motriz* para diferentes configuraciones de trenes motrices, se comprobó que este programa funciona adecuadamente, por lo que se estima podría ser una herramienta que le permita a los responsables de la selección de vehículos en las empresas de transporte, conocer el comportamiento que tendrán los vehículos al destinarlos a las operaciones de la empresa.

## 5. Casos de Aplicación del Programa de Selección del Tren Motriz

---

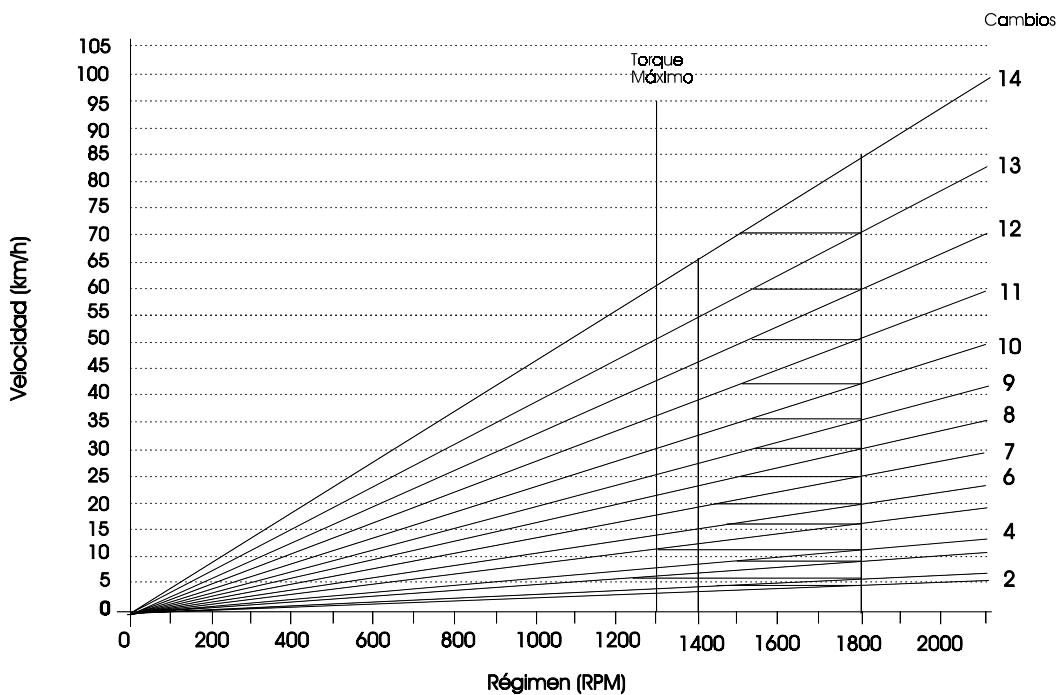
### 5.1 Ejemplo de gráficas de desempeño del tren motriz, evaluando la capacidad de arranque y ascenso en pendientes (*gradeability* y *startability*)

En la Figura 5.1 se presenta el desempeño de un vehículo cuyo tren motriz está integrado por lo siguiente: motor de 400 HP, transmisión de 14 velocidades, diferencial con paso de 5.29 y llantas de 3.51 m de perímetro; la carga a transportar es de 36,320 kg (80 000 lb). Con el tren motriz seleccionado se tiene una capacidad de ascenso mayor al 40% de pendiente. Sin embargo, a medida que se van realizado los cambios hacia adelante, se observa cómo la capacidad de ascenso va disminuyendo con el aumento de la velocidad del vehículo.



**Figura 5.1 Diagrama de ascenso para un vehículo con un PBV de 36 320 kg con Motor NTC 400; Transmisión TSP 1414 A; Paso de Diferencial 5.29 y llantas 11.00 R 22**

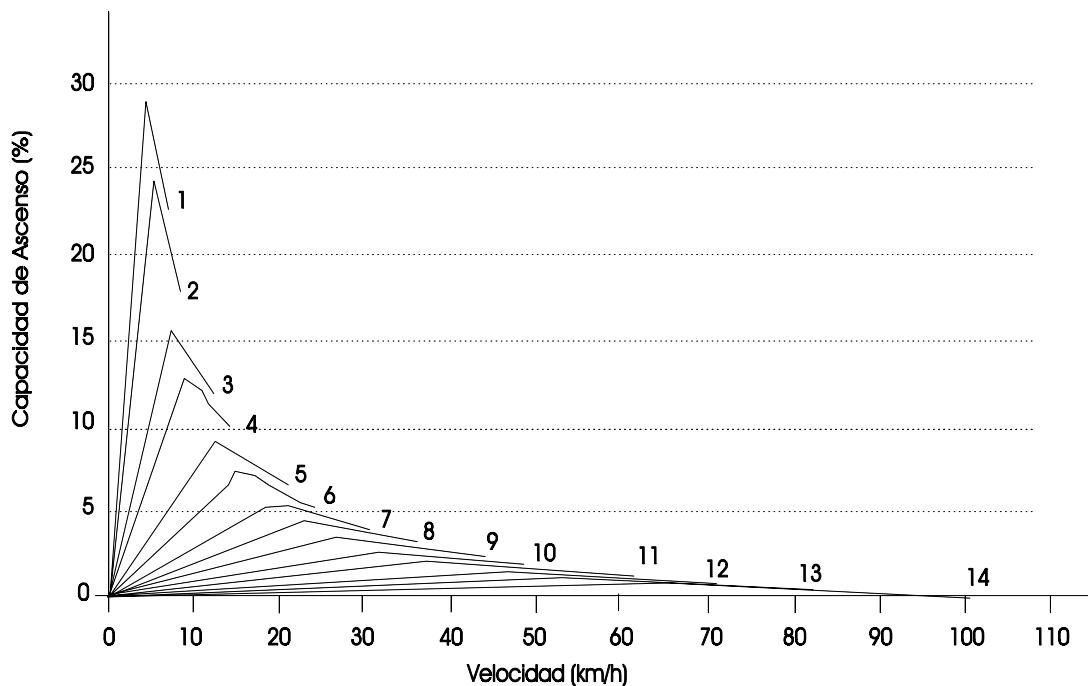
Con el diagrama de velocidades correspondiente que se muestra en la Figura 5.2, se observa la operación del tren motriz, en donde se ha establecido el régimen óptimo de operación, al que se le ha denominado zona verde, desde el punto de vista de economía de combustible entre las 1400 y 1800 r.p.m. Sin embargo, para este caso se nota que los cambios de segunda a tercera y de cuarta a quinta no se pueden realizar dentro del régimen óptimo de operación. Los demás cambios sí permitirán operar el vehículo con economía de combustible.



**Figura 5.2 Diagrama de velocidades para un vehículo con Motor NTC 400; Transmisión TSP 1414 A; Paso de Diferencial 5.29 y llantas 11.00 R 22**

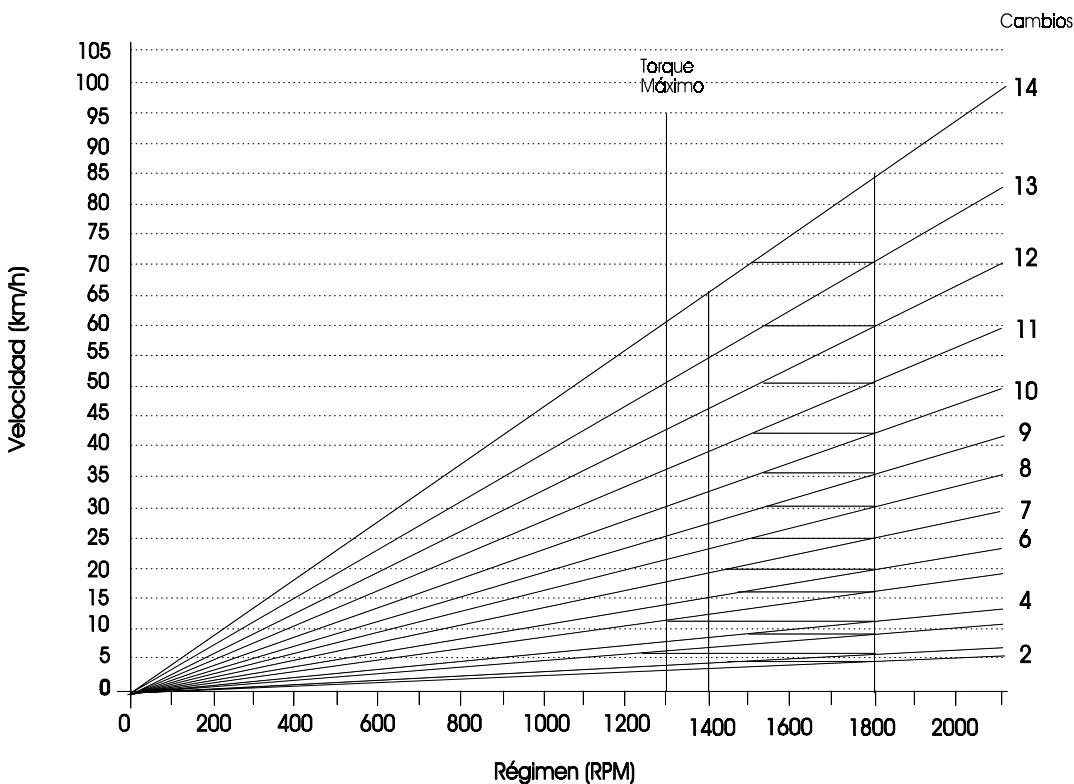
El mismo tren motriz se presenta en la Figura 5.3, sólo que ahora se le ha aumentado la carga al vehículo a 47 216 kg (104 000 lb). En esta figura es donde se puede observar que la capacidad de ascenso máxima es de 28% de pendiente. Es decir, el aumento de la carga en un 30% provoca una disminución en la capacidad de ascenso del 32

%. El diagrama de velocidades correspondiente se muestra en la Figura 5.4.



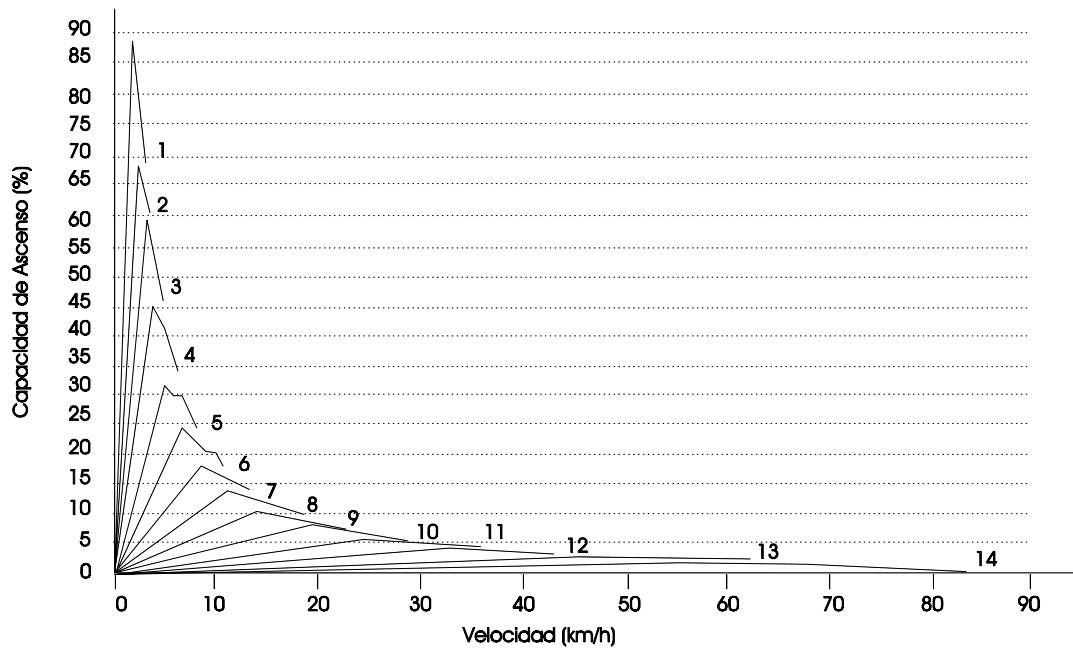
**Figura 5.3 Diagrama de ascenso para un vehículo con un PBV de 47 216 kg con Motor NTC 400; Transmisión TSP 1414 A; Paso de Diferencial 5.29 y llantas 11.00 R 22**

Se pueden realizar una serie de combinaciones de los elementos que componen el tren motriz, para encontrar la combinación óptima y lograr que se efectúen todos los cambios de velocidad dentro de la zona de consumo mínimo de combustible y que además nos proporcione una buena *gradeability*. Por lo que se observa en el diagrama de velocidades de la Figura 5.2, se tiene que cambiar el tipo de transmisión para lograr hacer que todos los cambios se realicen dentro de esta zona.

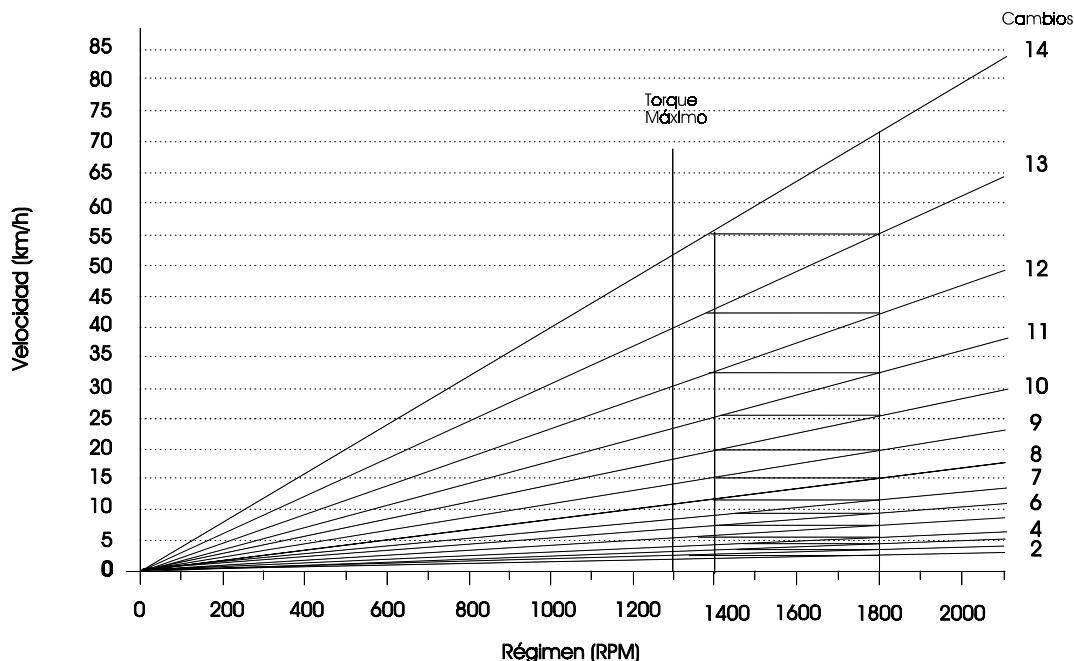


**Figura 5.4 Diagrama de velocidades de un vehículo con Motor NTC 400; Transmisión TSP 1414 A; Paso de Diferencial 5.29 y llantas 11.00 R 22**

El cambio de transmisión que se realiza es con el mismo número de velocidades pero con otras relaciones en los cambios; el diagrama de ascenso correspondiente se muestra en la Figura 5.5. En este diagrama se nota un aumento muy marcado en la capacidad de ascenso, pero una disminución en la velocidad máxima de operación que se puede alcanzar dentro de la zona verde. Si se requiere la misma velocidad que se alcanzó con la otra transmisión, se tendría que operar siempre en el límite del régimen del motor en donde se tiene la potencia máxima gobernada, con la consecuencia de un alto consumo de combustible, como se aprecia en la Figura 5.6.

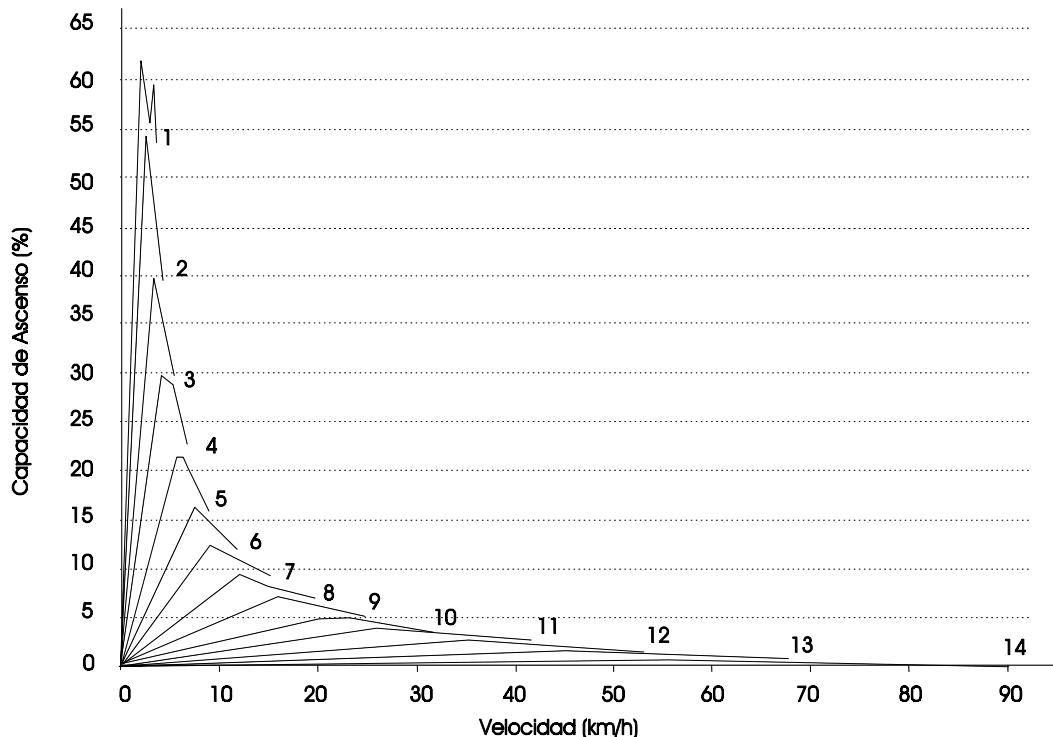


**Figura 5.5 Diagrama de ascenso para un vehículo con un PBV de 36 320 kg con Motor NTC 400; Transmisión PS85 L4-AL; Paso de Diferencial 5.29 y llantas 11.00 R 22**



**Figura 5.6 Diagrama de velocidades de un vehículo con Motor NTC 400; Transmisión PS85 L4-AL; Paso de Diferencial 5.29 y llantas 11.00 R 22**

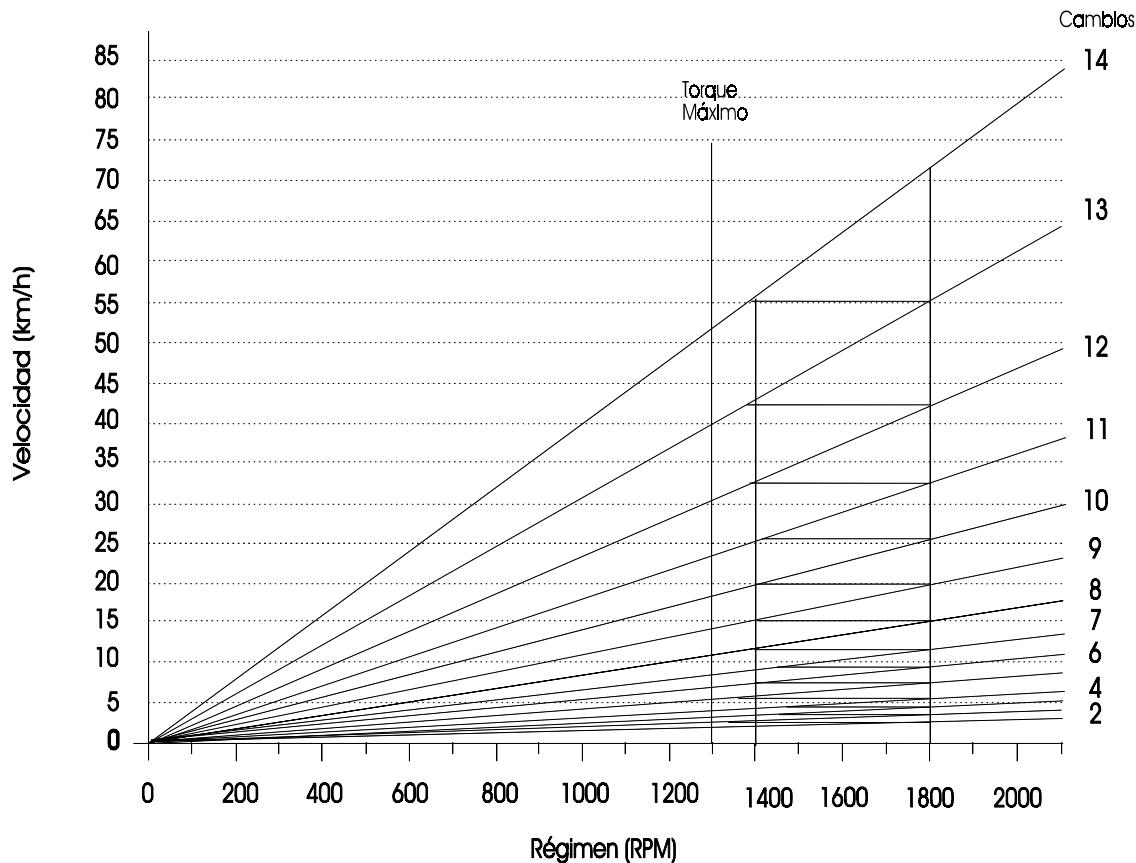
En la figura 5.7 se presenta el tren motriz modificado con la transmisión en donde se aumentado la carga a 47 216 kg (104 000 lb). En el diagrama de ascenso se puede observar que el vehículo sólo alcanza hasta un 60 % de la capacidad de ascenso, lo que representa una disminución del 33 % al tener un aumento del 30 % de la carga.



**Figura 5.7 Diagrama de ascenso para un vehículo con un PBV de 47 216 kg con Motor NTC 400; Transmisión PS85 L4-AL; Paso de Diferencial 5.29 y llantas 11.00 R 22**

En la figura 5.8 se presenta el diagrama de velocidades correspondiente a este nuevo tren motriz en donde la velocidad de máxima operación, es decir los 80 km/h, son alcanzados en el régimen máximo del motor.

Durante la selección del tren motriz más adecuado a las condiciones de operación requeridas, es necesario tener presente los reglamentos y normas de operación aplicables en cada caso.



**Figura 5.8 Diagrama de velocidades para un vehículo con Motor NTC 400; Transmisión PS85 L4-AL; Paso de Diferencial 5.29 y llantas 11.00 R 22**



## **6.Consideraciones Finales**

---

Los factores que intervienen en la selección técnica del tren motriz y por lo tanto del vehículo, afectan la selección del mismo; se está tomando una decisión de compra que repercutirá cuando menos por cinco años de su vida útil, por lo que es necesario adaptarse a las normas de pesos y dimensiones, de límites de velocidad o de protección ecológica, tanto de ruido como de emisiones anticontaminantes, para que en un próximo futuro no tenga el vehículo restricciones para su utilización.

Es conveniente señalar que una selección técnica del tren motriz permite establecer las características adecuadas del vehículo cuando se toma en consideración la actividad de la empresa. Esto permite determinar con cuidado la potencia requerida del motor, de tal manera que se pueda lidiar con las pendientes más severas a una velocidad aceptable, sin por esto permitir un manejo inseguro en terrenos planos o en recorridos en vacío.

Lo anterior permite obtener una relación adecuada entre la caja de velocidades y el paso de diferencial, que son elementos clave para poder lograr el ascenso en pendientes y alcanzar la velocidad máxima que puede desarrollar el vehículo. Además se puede encontrar un compromiso entre los elementos del tren motriz que permita un manejo por parte del operador dentro de la zona de economía de combustible y alcanzar un rendimiento mecánico óptimo de cada uno de los componentes; además de lograr un manejo confortable por parte del operador, lo que repercute en la seguridad vial del vehículo.

El vehículo ideal no existe, pero se cuenta con criterios técnicos que permiten seleccionar la unidad que más se adapte al uso para el cual se requiere, por lo que, el mejor vehículo será el que este conformado por un tren motriz que cumpla con el desempeño que se necesita, con la seguridad de su operación y con economía de combustible.



## Bibliografía

---

1. Berg, G.; *The used truck market, price is right*, Heavy Duty Trucking, 1996.
2. Bosch, R.; *Diesel Fuel Injection*; Robert Bosch GmbH, Stuttgart Germany; 1994.
3. Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Querétaro; "Estudio inicial para el diseño de una caja de velocidades manual"; Querétaro, Qro. México. Reporte Interno, 1992.
4. Comisión de Comunidades Europeas, Sociedad Francesa de Ingeniería, Cámara Nacional de Empresas de Consultoría, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía; "Guía Metodológica de Diagnósticos Energéticos en el Transporte", México, D. F., 1993.
5. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE); "Motores para camiones y autobuses de servicio ligero y mediano"; Julio 1995. México, D.F.
6. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, "Diagnósticos Energéticos en empresas de Autotransporte"; Informes Técnicos, México, D.F. 1995.
7. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, Sociedad Francesa de Ingeniería (BCEOM); "La selección técnica de vehículos en el transporte"; Documento interno, México, D.F., 1994.
8. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía; "¿Cómo seleccionar un vehículo nuevo?"; Transporte Eficiente; Año 1, Nº 1, México D.F. Diciembre de 1995.
9. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía; "Especificando al vehículo nuevo"; Transportista Profesional; México, D.F. Julio 1995.

10. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía; "Llantas y rines"; Transportista Profesional; Julio 1995. México, D.F..
11. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía; "Motores diesel"; Transportista Profesional; Julio 1995. México.
12. Cummins, "Curvas de eficiencia automotriz"; Cummins Engine Company, Inc. Columbus, In. 1989, 1991, 1992, 1993, 1995. México.
13. Charles, M. Perkins; "*Principles and Design of Mechanical Truck Transmissions*"; SAE SP-363, Eaton Yale & Yowne Inc., 1971.
14. Chavelas, P.; "Clasificación de carreteras en la integración de redes. Ventajas de su integración"; Centro S.C.T. Campeche. Junio 1992.
15. Dartois, L.; "Seminario de reposición y selección vehicular", IMT, Sanfandila, Qro., 1993.
16. Detroit Diesel; "Curvas de rendimiento"; Detroit Diesel Corporation; Detroit, Mi. U.S.A., 1997.
17. Eaton; "*Axles and Brakes Condensed Specifications*"; Eaton Corporation, Katamazoo, Mi. U.S.A. 1995.
18. Eaton-Fuller; "*Transmissions Condensed Specifications*"; Eaton Corporation, Katamazoo, Mi. U.S.A. 1996.
19. Fitch, J. W.; "*Motor Truck Engineering Handbook*"; Fourth Edition; The Society of Automotive Engineers, (SAE); U.S.A. 1994.
20. Goodyear; "Factores que afectan la duración de las llantas para camión"; Catálogo Goodyear, 1997.
21. Instituto Mexicano del Transporte (IMT); Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); "Manual de conducción técnica de vehículos automotores Diesel"; Publicación Técnica No. 70; Sanfandila, Qro. México. 1995.
22. Instituto Mexicano del Transporte (IMT); Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); "Evaluación económica

- de la pendiente gobernadora en carreteras"; Publicación Técnica No. 54; Sanfandila, Qro. México. 1995.
23. Mercedes Benz; "Curvas de comportamiento de motores; Mercedes Benz", México, 1998.
  24. Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT2-1995, "Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal"; Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); Diario Oficial de la Federación; México, D.F. 7 de enero de 1997.
  25. Norma Oficial Mexicana NOM-016-SCT-2-1996, "Industria hulera-llantas para camión-especificaciones y métodos de prueba"; Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); Diario Oficial de la Federación, México, D.F. 27 de mayo de 1997.
  26. Rafael, M. M; Guzmán, R. C; Sánchez, N. M.; "Selección del tren motriz para la habilidad de arranque y ascenso en pendiente", Memorias Simposio 1998 la Investigación y el Desarrollo Tecnológico en Querétaro; Querétaro, Qro. 1998.
  27. Rockwell Automotive; "*Truck and tractor axle specifications*"; Rockwell International Corporation; Troy, Mi, U.S.A., 1996.
  28. Sánchez, N. M.; Rafael, M. M.; Guzmán, R. C.; "Diseño de Software para la Selección de Trenes Motrices de Vehículos Destinados al Servicio Público Federal"; Memorias del Simposio La Investigación y el Desarrollo Tecnológico en Querétaro; Querétaro, Qro., septiembre 1996.
  29. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); "Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal"; Diario Oficial de la Federación (DOF), 26 de enero de 1994.
  30. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); "Acuerdo que establece el control de la velocidad para vehículos propulsados por motor a diesel, destinados al servicio de

- autotransporte de personas y bienes"; Diario Oficial de la Federación (DOF); 28 de julio de 1980.
31. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); "Normas de servicios técnicos. Proyecto geométrico de carreteras". Libro 2.01.01"; México, D.F. 1984.
  32. Society of Automotive Engineers, Inc. (SAE); "*Truck ability prediction procedure*"; SAE Technical Report HS-82; USA. 1965.
  33. Society of Automotive Engineers, Inc. (SAE); "*SAE Handbook Supplement 82*"; SAE Recommended Practice; U.S.A. 1965.
  34. Society of Automotive Engineers, Inc. (SAE); "*Truck and buses practice*"; SAE J688; "*Truck ability prediction procedure; SAE Recommended Practice* "; Warrendale, PA. U.S.A. 1987.
  35. Society of Automotive Engineers, Inc. (SAE); "*Principles and design of mechanical truck transmissions*"; SAE SP-363; U.S.A. 1971.
  36. SPICER; "Funcionamiento básico de transmisiones y embragues"; Transmisiones TSP SPICER; Pedro Escobedo, Qro. 1998.
  37. SPICER; "Especificaciones Condensadas de Transmisiones; Transmisiones TSP", Pedro Escobedo Qro., 1998
  38. Thomas, N. Riley; Eric, A. Samuelson and Elizabeth M. Schmidt; "*New Ten Speed Transmissions Add Unique Features*"; Society of Automotive Engineers, Inc. Detroit, Michigan; USA. 1990.

**CIUDAD DE MEXICO**

Av. Patriotismo 683  
Col. Mixcoac  
03730, México, D. F.  
Tel (55) 56 15 35 75  
55 98 52 18  
Fax (55) 55 98 64 57

**SANFANDILA**

Km. 12+000, Carretera  
Querétaro-Galindo  
76700, Sanfandila, Qro.  
Tel (442) 2 16 97 77  
2 16 96 46  
Fax (442) 2 16 96 71

Internet: <http://www.imt.mx>  
[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)