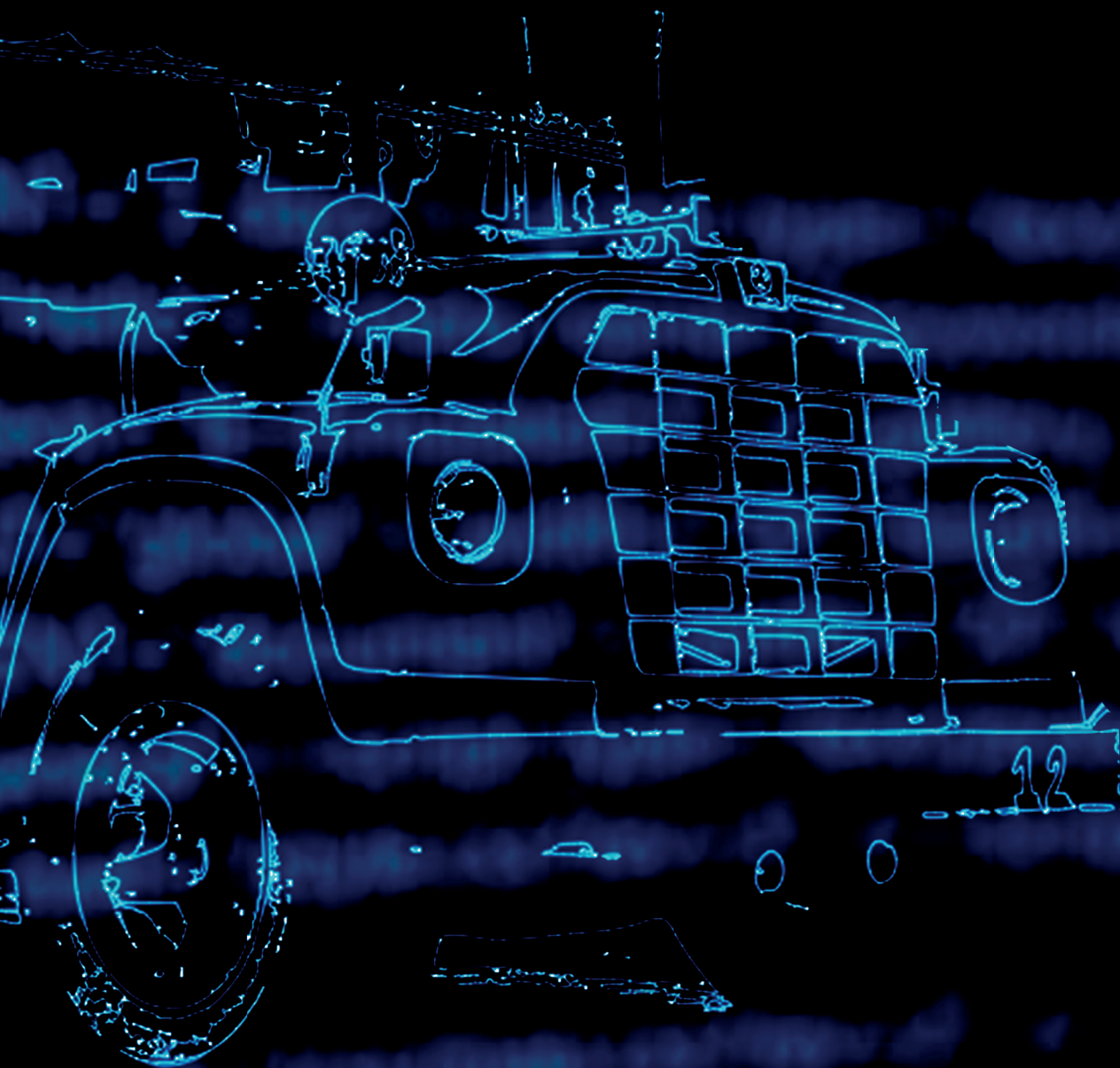


Teoría y cálculos de sistemas motrices para  
vehículos pesados



**Héctor Alonso Benítez García**

# **Teoría y cálculos de sistemas motrices para vehículos pesados**

Universidad Autónoma de la Ciudad de México

M. en C. Juan Carlos Aguilar Franco  
Rector

Dra. María Elizabeth Alvarez Sánchez  
Coordinadora Académica

Lic. Jorge Luis Rubio Hernández  
Coordinador de Difusión Cultural y Extensión Universitaria

Equipo de la Biblioteca del Estudiante

Ángeles Godínez Guevara  
Responsable

Ana Beatriz Alonso Osorio  
Ana Lina Graciano Franco  
Daniel Valentín Cruz  
Florina Piña Cancino  
María del Pilar Aparicio Romero  
Sergio Javier Cortés Becerril

# **Teoría y cálculos de sistemas motrices para vehículos pesados**

Héctor Alonso Benítez García

Ficha catalográfica E-S/N

---

Teoría y cálculos de sistemas motrices para vehículos pesados / Héctor Alonso Benítez García. Primera edición. -- Ciudad de México : Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Biblioteca del Estudiante, 2025.

viii, 215 páginas : ilustraciones, fotografías, tablas ; 21 cm

Bibliografía: páginas 203-211.

1. Camiones industriales – Ruedas. 2. Camiones industriales – Ejes. 3. Camiones industriales – Motores – Combustión. 4. Camiones industriales - Motores (Diesel). 5. Vehículos de motor - Neumáticos 6. Vehículos eléctricos. 7 Ingeniería del transporte. I. Título.

LC TL230.A2

Dewey 629

---

*Teoría y cálculos de sistemas motrices para vehículos pesados*

primera edición, 2025

© Héctor Alonso Benítez García

D.R. © Universidad Autónoma de la Ciudad de México  
García Diego 168, col. Doctores,  
alc. Cuauhtémoc, c. p. 06720, México, D F

ISBN: 978-607-2615-72-4

[https://www.uacm.edu.mx/Organizacion/CoordinacionAcademica/Biblioteca\\_Estudiante](https://www.uacm.edu.mx/Organizacion/CoordinacionAcademica/Biblioteca_Estudiante)

Material educativo universitario de distribución gratuita para estudiantes de la UACM. Prohibida su venta

Hecho e impreso en México

# Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al maestro Daniel Valentín, quien ha sido una fuente constante de inspiración y apoyo a lo largo de la creación de este libro. Su guía y aliento fueron fundamentales para llevar este proyecto a su conclusión.

Asimismo, deseo agradecer a María de los Ángeles Godínez Guevara, Responsable del programa Biblioteca del Estudiante, por su invaluable labor en el acceso y difusión del conocimiento, así como por su apoyo a la comunidad estudiantil, facilitando herramientas que han enriquecido este proceso académico.

También quiero agradecer de corazón a todas las personas que han sido pilares en mi vida: mi familia, amigos y seres queridos, quienes de una forma u otra contribuyeron a este proceso. Y por último, pero no menos importante, agradezco enormemente a la Universidad Autónoma de la Ciudad de México y a mis estudiantes de esta institución. Fue su interés y entusiasmo lo que inicialmente me motivó a embarcarme en esta experiencia de escritura. Su pasión por el aprendizaje y la ingeniería ha sido una inspiración constante y una fuente de motivación invaluable.



# Índice general

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>Objetivo</b>	<b>5</b>
<b>1. Ruedas y ejes</b>	<b>9</b>
1.1. Definiciones . . . . .	10
1.2. Lectura de neumáticos y clasificación . . . . .	11
1.3. Clases y tipos de ejes . . . . .	16
1.3.1. Ejes simples, tandem, tridem y torton . . . . .	18
1.3.2. Tipos de tracción y dirección . . . . .	23
1.3.2.1. Dos o más ejes direccionales . . . . .	23
1.3.2.2. Tercer eje direccional . . . . .	24
1.3.3. Clasificación por tracción . . . . .	25
1.4. Conjunto de acoplamiento de quinta rueda . . . . .	27
1.4.1. Remolques y semirremolques . . . . .	28
1.4.1.1. Remolque . . . . .	28
1.4.1.2. Semirremolque . . . . .	29
<b>2. Clasificación de vehículos y subsistemas</b>	<b>33</b>
2.1. Clasificación por clase . . . . .	37
2.2. Clasificación por categoría . . . . .	38
2.2.1. Categoría L . . . . .	40
2.2.2. Categoría M . . . . .	40
2.2.3. Categoría N . . . . .	41
2.2.4. Categoría O . . . . .	42
2.3. Carrocería de los vehículos pesados o industriales . . . . .	44
2.3.1. Chasis . . . . .	45
2.3.1.1. Componentes básicos del Chasis . . . . .	47
2.3.1.2. Tipos de Chasis . . . . .	47
2.3.2. Cabinas . . . . .	48
2.4. Tipos de camiones de carga . . . . .	50
2.4.1. Tráilers . . . . .	51
2.4.2. Camión de redilas . . . . .	52
2.4.3. Camión rabón . . . . .	52
2.4.4. Camiones rígidos . . . . .	53
2.4.5. Camiones articulados . . . . .	53
2.4.6. Tren de carretera . . . . .	54

2.4.7.	Camión cisterna . . . . .	54
2.4.8.	Camión portacoche . . . . .	56
2.4.9.	Furgoneta . . . . .	57
2.5.	Tipos de camiones de pasajeros . . . . .	57
2.5.1.	Ómnibus y autobús . . . . .	58
2.5.2.	Microbús . . . . .	59
2.5.3.	Combi o furgoneta . . . . .	60
2.6.	Tipos de caminos . . . . .	61
2.7.	Peso y largo de vehículos . . . . .	62
2.7.1.	Largo máximo . . . . .	64
2.7.2.	Radio de giro . . . . .	66
2.7.2.1.	Vehículo No Articulado . . . . .	69
2.7.2.2.	Vehículo Articulado . . . . .	70
2.7.2.3.	Cálculo del Radio de Giro de un Vehículo Articulado . . . . .	72
<b>3.</b>	<b>Motores térmicos</b>	<b>75</b>
3.1.	Motor de combustión externa . . . . .	76
3.1.1.	Motor Stirling . . . . .	77
3.2.	Motor de combustión interna . . . . .	78
3.3.	Ciclo de Carnot . . . . .	78
3.4.	Ciclo Otto . . . . .	79
3.5.	Principios de motores a gasolina y diésel . . . . .	81
3.5.1.	Partes del motor y principales diferencias . . . . .	81
3.5.2.	Motores de cuatro tiempos . . . . .	84
3.5.3.	Motor Atkinson . . . . .	86
3.5.3.1.	Características técnicas y aplicaciones . . . . .	87
3.5.4.	Motor Wankel . . . . .	88
3.5.4.1.	Características Técnicas, ventajas y desventajas . . . . .	89
3.5.5.	Disposición de Motores . . . . .	90
3.5.5.1.	Motor Transversal . . . . .	90
3.5.5.2.	Motor en V . . . . .	91
3.5.5.3.	Motor en Línea . . . . .	91
3.6.	Motor Diesel . . . . .	92
3.6.1.	Diferencias entre Motores Diésel y Motores a Gasolina . . . . .	93
3.6.1.1.	Eficiencia y Rendimiento . . . . .	94
3.6.1.2.	Aplicaciones . . . . .	94
<b>4.</b>	<b>Dinámica del vehículo</b>	<b>99</b>
4.1.	Eje de transmisión . . . . .	100
4.1.1.	Componentes y Tipos de Ejes . . . . .	101
4.1.2.	Ejemplo de cálculo . . . . .	101
4.2.	Embrague y caja de transmisión . . . . .	103
4.2.1.	Transmisiones en Camiones: Complejidad y Eficiencia . . . . .	104
4.2.2.	Embragues . . . . .	106
4.2.3.	Cajas de Cambios . . . . .	106
4.2.4.	Caja de Cambios Eaton Fuller . . . . .	108
4.2.4.1.	Explicación del funcionamiento . . . . .	110

4.3.	Centro de gravedad y estabilidad . . . . .	111
4.3.1.	Localización del centro de gravedad . . . . .	112
4.4.	Cálculo de estabilidad lateral . . . . .	115
4.5.	Cálculo de estabilidad longitudinal . . . . .	117
4.5.1.	Para superar la pendiente máxima . . . . .	118
4.6.	Cálculos de resistencias al movimiento vehicular . . . . .	120
4.6.1.	Resistencia por rodadura ( $R_r$ ) . . . . .	121
4.6.1.1.	Rueda portante . . . . .	122
4.6.1.2.	Rueda motriz . . . . .	123
4.6.2.	Resistencia por pendiente ( $R_p$ ) . . . . .	125
4.6.2.1.	Determinación de porcentaje de una pendiente . . . . .	126
4.6.3.	Resistencia a la inercia ( $R_j$ ) . . . . .	127
4.6.4.	Resistencia aerodinámica ( $R_a$ ) . . . . .	128
4.6.5.	Cálculo aproximado de $K$ y $f$ . . . . .	131
4.6.5.1.	Coeficiente de resistencia aerodinámica . . . . .	131
4.6.5.2.	Coeficiente de resistencia por rodadura . . . . .	132
4.6.6.	Ejemplo de cálculo con vehículo pesado . . . . .	134
4.7.	Problemas de cálculo de potencia . . . . .	138
<b>5.</b>	<b>Sistema de frenos</b>	<b>149</b>
5.1.	Características, tipos y generalidades . . . . .	151
5.2.	Cálculo de frenado . . . . .	156
5.2.1.	Eficacia de frenado . . . . .	157
5.2.2.	Coeficientes de rozamiento y adherencia . . . . .	161
5.3.	Ensayos de frenada . . . . .	166
5.3.1.	Ensayo tipo 0 . . . . .	168
5.3.2.	Ensayo del Tipo I . . . . .	168
5.3.3.	Constante de frenada y proporcionalidad . . . . .	172
5.3.3.1.	Coeficiente de fricción $\mu$ . . . . .	172
5.3.3.2.	Constante de desaceleración $k$ . . . . .	173
5.3.3.3.	Constante de frenado $b$ . . . . .	173
5.3.3.4.	Fuerza de frenado específica $k_f$ . . . . .	174
5.3.4.	Eficiencia de frenado en vehículos eléctricos . . . . .	178
5.3.4.1.	Frenos regenerativos . . . . .	178
5.3.4.2.	Frenos Convencionales . . . . .	178
5.3.4.3.	Combinación de sistemas . . . . .	179
5.3.4.4.	Beneficios de la combinación . . . . .	179
5.3.4.5.	Desafíos . . . . .	179
<b>6.</b>	<b>Combustibles</b>	<b>181</b>
6.1.	Categorización . . . . .	182
6.1.1.	Por Origen . . . . .	182
6.1.2.	Por Estado Físico . . . . .	182
6.1.3.	Por Impacto Ambiental . . . . .	183
6.1.4.	Por Tecnología de Uso . . . . .	184
6.1.5.	Ejemplos de Combustibles y sus Categorías . . . . .	184
6.2.	Combustibles tradicionales y fósiles . . . . .	185

6.2.1. Gasoil . . . . .	185
6.3. Combustibles alternativos . . . . .	186
6.3.1. Biocombustibles . . . . .	186
6.3.2. Gases: GNC y GLP . . . . .	187
6.3.3. Diesel Exhaust Fluid . . . . .	187
6.4. El Futuro: Hidrógeno, E-Fuels . . . . .	188
6.4.1. Tecnologías Emergentes . . . . .	189
<b>7. Consideraciones Iniciales en Vehículos Eléctricos</b>	<b>191</b>
7.1. Sistemas Motrices en Vehículos Eléctricos . . . . .	191
7.1.1. Ejemplo de Cálculo de Eficiencia Total: . . . . .	192
7.2. Eficiencia Energética en Vehículos Eléctricos . . . . .	193
7.2.1. Factores que Afectan la Eficiencia Energética: . . . . .	193
7.2.2. Innovaciones y Desafíos . . . . .	194
7.2.2.1. Desafíos Actuales: . . . . .	195
A. Sistematización de vehículos . . . . .	197
B. Volvo VNR 300 . . . . .	199
<b>Bibliografía</b>	<b>203</b>
<b>Glosario</b>	<b>213</b>

# Introducción

En un mundo donde la movilidad es una piedra angular de la sociedad moderna, los vehículos pesados de carga y el transporte de pasajeros desempeñan un papel fundamental. Desde los camiones que transportan mercancías cruciales a lo largo de miles de kilómetros hasta los autobuses que llevan a diario a millones de personas a sus destinos, estos gigantes de la carretera y las flotas de transporte público son verdaderos motores de la economía y la movilidad. Sin embargo, detrás de cada viaje exitoso y entrega de carga o pasajeros se esconde un vasto conjunto de sistemas motrices y cálculos que son absolutamente esenciales. Desde la potencia del motor y la eficiencia de la transmisión hasta la resistencia al aire y la dinámica vehicular, estos conceptos no solo impulsan la operación de estos vehículos, sino que también marcan la diferencia en términos de rendimiento, eficiencia y seguridad. La Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano es una disciplina multidisciplinaria que integra conocimientos de diversas áreas para abordar los desafíos de la movilidad en entornos urbanos. La creciente urbanización y la necesidad de sistemas de transporte más sostenibles y eficientes han generado una demanda creciente de ingenieros capacitados en este campo. Este libro se enmarca dentro de un contexto académico que busca preparar a los estudiantes para enfrentar y resolver estos desafíos, proporcionándoles las herramientas teóricas y prácticas necesarias para su desarrollo profesional. La interrelación de los sistemas motrices con otras áreas de estudio, como la energía, la seguridad vial y el diseño de infraestructuras, destaca la importancia de un enfoque integral en la formación de ingenieros que puedan contribuir de manera significativa al desarrollo de sistemas de transporte urbano modernos y sostenibles.

El propósito de este libro es proporcionar a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano una comprensión integral de los vehículos y sistemas motrices, abordando

tanto los aspectos teóricos como prácticos necesarios para su desarrollo profesional. Este recurso está diseñado para servir como material de referencia y apoyo en diversas asignaturas, tales como:

- **Sistemas Motrices:** Explora los diferentes tipos de motores y funcionamiento de sistemas de propulsión, incluyendo motores de combustión interna, motores eléctricos, así como la dinámica vehicular y sistemas de frenado.
- **Sistemas de Transporte Eléctrico:** Aborda de manera general los sistemas motrices de vehículos eléctricos y su implementación en entornos urbanos.
- **Ingeniería de Pavimentos:** Aborda de manera indirecta el impacto de la adherencia y resistencia a la rodadura de los pavimentos a diferentes tipos de vehículos y cargas motrices.
- **Diseño y Construcción de Servicios de Transporte:** Integra el conocimiento de sistemas motrices en el diseño y construcción de sistemas de transporte eficiente y sostenible.
- **Energía y Transporte:** Analiza la interrelación entre los sistemas de propulsión vehicular y el consumo energético, promoviendo soluciones que optimicen el uso de recursos así como los diferentes tipos de combustibles utilizados por los vehículos pesados.

Este libro ha sido elaborado con el objetivo de cubrir un vacío en la literatura educativa específica para la Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano. Su importancia radica en proporcionar una base sólida y actualizada que permitirá a los futuros ingenieros comprender y abordar los desafíos contemporáneos en la movilidad urbana. Al integrar conocimientos de sistemas motrices y su aplicación práctica, este libro contribuirá a formar profesionales capaces de diseñar, implementar y gestionar sistemas de transporte que sean eficientes, sostenibles y seguros. Además, su inclusión en el plan educativo de la universidad refuerza el compromiso de la institución con la excelencia académica y la preparación de sus estudiantes para un mercado laboral en constante evolución.

Para maximizar el aprovechamiento de este libro, se recomienda a los estudiantes y profesores:

- **Lectura Activa:** Realizar lecturas activas y críticas de los capítulos, tomando notas y cuestionando los conceptos presentados.

- 
- Investigación y Desarrollo: Utilizar el contenido como base para investigaciones adicionales y proyectos de desarrollo que contribuyan a la innovación en el campo del transporte urbano.



# Objetivo

El dominio de los sistemas motrices en vehículos pesados es más que un requisito curricular en la formación de ingenieros en Sistemas de Transporte Urbano. Representa un punto de convergencia entre la innovación tecnológica y las demandas prácticas de movilidad eficiente y sostenible. Al integrar teoría, cálculo aplicado y análisis crítico, los profesionales no solo optimizan el rendimiento vehicular, sino que diseñan soluciones adaptadas a los retos de seguridad, eficiencia energética y normativas que rigen el transporte actual.

Este libro ha sido concebido como una guía de aprendizaje evolutiva, en la que cada capítulo actúa como un eslabón formativo que consolida conocimientos previos mientras introduce nuevos desafíos técnicos. Su estructura secuencial (desde principios fundamentales hasta aplicaciones avanzadas) se refuerza con una metodología pedagógica tridimensional:

- Análisis conceptual: Diagramas técnicos, modelado matemático y fundamentos teóricos.
- Simulación práctica: Casos de estudio, ejercicios parametrizados y problemas contextualizados con datos reales.
- Interacción digital: Recursos complementarios accesibles mediante códigos QR, que permiten visualizar modelos dinámicos, simulaciones y documentación técnica adicional.

Esta aproximación facilita el aprendizaje tanto en entornos académicos como en la actualización de profesionales del sector, garantizando que el conocimiento adquirido sea aplicable en la operación, optimización y diseño de sistemas motrices para vehículos pesados.

## Objetivo General

Capacitar a estudiantes, docentes y profesionales en el diseño, evaluación y optimización de sistemas motrices en vehículos pesados, proporcionando un enfoque integral que combine precisión técnica, innovación aplicada y visión sistémica en el contexto del transporte urbano y de carga.

## Objetivos Específicos

- Dominar los principios técnicos esenciales
  - Clasificación y arquitectura de los sistemas motrices.
  - Análisis de componentes críticos (motores térmicos, transmisión, frenos, etc.).
  - Fundamentos de termodinámica y eficiencia energética en el transporte pesado.
- Aplicar cálculos avanzados en el análisis de sistemas motrices
  - Dimensionamiento de transmisiones en función de la carga y el terreno.
  - Cálculo de eficiencia energética y resistencia al movimiento.
  - Simulación y optimización del rendimiento en distintas condiciones operativas.
- Diagnosticar y mejorar el desempeño vehicular
  - Evaluación de interacción neumático-pavimento y coeficientes de rodadura.
  - Análisis de pérdidas aerodinámicas y su impacto en el consumo de combustible.
  - Optimización de la relación masa-potencia en pendientes y rutas de alto tráfico.
- Relacionar la teoría con la normativa vigente
  - Aplicación de regulaciones internacionales.
  - Evaluación de normativas de seguridad en flotas de transporte de carga y pasajeros.
  - Análisis de impacto de las políticas de movilidad en la configuración de sistemas motrices.

Más que un manual técnico, este libro es un puente entre la teoría académica y la práctica profesional. La integración de problemas reales (respaldados con datos de fabricantes y operadores logísticos), junto con el uso de códigos QR para acceder a contenido dinámico (simulaciones de sistemas mecánicos, modelos de cálculo interactivos, diagramas en 3D y normativas actualizadas), convierte este material en un recurso vivo y adaptable a la evolución del transporte de carga y pasajeros.

A continuación, se presenta una tabla que muestra los conocimientos previos recomendados para cada capítulo y las unidades de aprendizaje que se abordarán. Esto permitirá al estudiante identificar los fundamentos necesarios y comprender la relación de cada tema con su formación académica.

Conocimientos Previos y Unidades de Aprendizaje		
Capítulo	Conocimientos Previos	Unidades de Aprendizaje
1. Ruedas y ejes	Mecánica I, Álgebra y Geometría Analítica	Ingeniería de Transporte, Sistemas Motrices
2. Clasificación de vehículos	Mecánica I y II	Ingeniería de Transporte, Modelos de Sistemas Urbanos
3. Motores térmicos	Termodinámica y Fluidos, Mecánica II	Sistemas Motrices, Energía y Transporte
4. Dinámica del vehículo	Mecánica I y II	Ingeniería de Tránsito, Sistemas Motrices
5. Sistema de frenos	Mecánica II, Termodinámica y Fluidos	Seguridad del Tránsito, Sistemas Motrices
6. Combustibles	Química General, Sustentabilidad y Transporte Urbano	Energía y Transporte, Calidad en los Servicios de Transporte
7. Vehículos eléctricos	Electricidad y Magnetismo, Análisis de Datos del Transporte	Sistemas de Transporte Eléctrico, Sistemas Inteligentes de Transporte

# Capítulo 1

## Ruedas y ejes

### Introducción

El estudio de la ingeniería vehicular, con un enfoque en los ejes y ruedas, se posiciona como un tema fundamental contrario a la presunción común de que el análisis del motor debería preceder, resulta imperativo iniciar con el examen de los elementos que posibilitan el movimiento impulsado por la fuerza del motor. Comprender este tema es esencial, ya que, para los cálculos subsiguientes de resistencias dinámicas, las ruedas constituyen el factor principal de estudio, seguido por los ejes en los análisis y cálculos de estabilidad.

Es importante destacar que estos estudios enfrentan un reto debido a las diferencias en los términos técnicos utilizados en distintos países de habla hispana. Además, los técnicos y mecánicos especializados en ingeniería automotriz suelen emplear un lenguaje coloquial que varía según la región. Esto puede generar confusión al consultar bibliografía de diferentes lugares. Aunque la información disponible sobre las ruedas de un vehículo es extensa y la diversidad de marcas que fabrican llantas y neumáticos es considerable, junto con los continuos avances tecnológicos en este ámbito, se presenta aquí un panorama general. Este enfoque no pretende abarcar toda la información existente, pero sin duda proporciona una comprensión de los términos esenciales y las bases necesarias para abordar con precisión los cálculos que se presentarán más adelante.

## 1.1. Definiciones

Dentro del lenguaje que comúnmente se utiliza en México para referirse al compuesto que soporta al vehículo, nos encontramos con términos como, rueda, llanta o neumático. La diferencia entre rueda, llanta y neumático es la siguiente:

### Rueda

Una rueda es una pieza mecánica de forma circular que gira alrededor de un eje. Está compuesta por una llanta, un neumático y, en algunos casos, una cámara de aire. La llanta proporciona un soporte rígido para el neumático, mientras que el neumático proporciona la tracción y la amortiguación. Existen dos tipos de montajes de ruedas, el montaje sencillo y el montaje gemelo, ambos se explicaran más adelante.

### Llanta

Una llanta es una pieza metálica circular sobre la que se monta el neumático y que, a su vez, se instala en el eje de una rueda. Su función principal es proporcionar un soporte rígido para el neumático, permitiendo su fijación y garantizando un adecuado desempeño en la conducción. Las llantas pueden estar fabricadas en diversos materiales, como acero, aluminio o magnesio. En algunos países, como México, también se les conoce como "RIN".

### Neumático

Un neumático es una pieza de caucho que se monta sobre la llanta de una rueda. Su función principal es proporcionar tracción y amortiguación. Los neumáticos están llenos de aire o espuma para proporcionar soporte y resistencia a la carga.

Se puede observar en la Tabla 1.1 un comparativo.

### Ejemplos

- Una bicicleta tiene dos ruedas, cada una con una llanta y un neumático.
- El Bogie<sup>1</sup> de un ferrocarril tiene cuatro ruedas, cada una también es una llanta, debido al material y a que no lleva neumático. Véase figura 1.1

---

<sup>1</sup>Marco de ruedas que se encuentran debajo de las locomotoras

Tabla 1.1: Diferencia entre rueda, llanta y neumático

Característica	Rueda	Llanta	Neumático
Material	Metal, caucho o plástico	Metal	Caucho
Función	Sostener el neumático y proporcionar tracción y amortiguación	Sostener el neumático	Proporcionar tracción y amortiguación
Partes	Llanta, neumático y, en algunos casos, cámara de aire	Llanta	Caucho

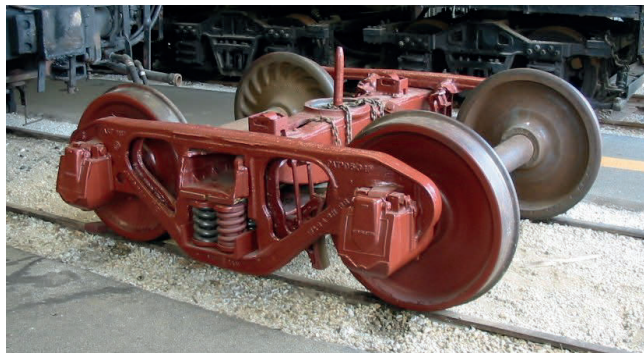


Figura 1.1: Bogie de tren

### Confusión

En algunos países, el término “llanta” se utiliza para referirse a la rueda completa, incluyendo la llanta y el neumático. En otros países, el término “Rin” se utiliza para referirse únicamente a la parte metálica de la rueda, que por definición de la RAE, es una pieza metálica central de la rueda de un vehículo, sobre la que va montado el neumático. (De Castro, 1852)

## 1.2. Lectura de neumáticos y clasificación

El tipo de neumático que se debe elegir para un vehículo, es sin duda, uno de los puntos más importantes a lo que la seguridad se refiere. Aunque cada fabricante emplea distintos tipos de caucho y métodos de fabricación, todos los neumáticos comparten ciertas características que se indican en su cara principal. En esta área se especifican detalles clave, como el tamaño de la llanta en pulgadas, el ancho de la pisada y, en la mayoría de los casos, los códigos que indican el índice máximo de velocidad

y la capacidad de carga del neumático. Todas estas especificaciones están normalizadas bajo la ISO 3833 la cual establece el método de medición de la resistencia a la rodadura de neumáticos (ISO Standard 3833, 2005) . En la figura 1.3 se puede observar claramente cómo se ven los códigos de diferentes tipos de neumáticos y en la figura 1.4. se muestra una ejemplo de uso de los códigos en un neumático.

Existe una clasificación que a veces pasa desapercibida para los conductores de vehículos pesados, la cual se centra en la diversidad de neumáticos según el eje en el que serán instalados. Principalmente, se distinguen tres tipos de neumáticos en esta categorización. Véase figura 1.2:



Figura 1.2: Tipos de neumáticos según su posición. (Todo Transporte, 2016)



Figura 1.3: Neumáticos con códigos de características

- Neumáticos para el eje de dirección: Estos neumáticos están específicamente diseñados para

el eje delantero del camión y desempeñan un papel crucial en la dirección del vehículo. Normalmente, presentan un diseño de banda de rodadura que garantiza una dirección precisa y una respuesta óptima en la carretera. Su función principal es proporcionar un agarre adecuado tanto en superficies secas como mojadas, además de garantizar una larga vida útil debido a la constante fricción que experimentan en el eje de dirección.

- Neumáticos para el eje de tracción: Estos neumáticos se destinan al eje de tracción, encargado de proporcionar la potencia necesaria para mover el vehículo hacia adelante. Su diseño de banda de rodadura está especialmente concebido para priorizar la tracción y la resistencia al deslizamiento, especialmente en terrenos resbaladizos o cuando se transporta carga pesada. Pueden encontrarse en configuraciones para camiones de tracción 4x2, o dobles, para camiones de tracción 6x4 o 8x4, instalados en el mismo eje para maximizar la capacidad de tracción.
- Neumáticos para el eje de portador: Estos neumáticos se ubican principalmente en el eje del remolque o semirremolque, aunque ocasionalmente también se colocan detrás de un eje motriz. Sin embargo, en este último caso, dicho eje no desempeña funciones de tracción ni dirección, sino que simplemente sigue al vehículo principal. Los neumáticos del eje portador pueden variar según el tipo de carga y el uso previsto. Pueden ser neumáticos estándar para carga general, neumáticos con baja resistencia a la rodadura, diseñados para el ahorro de combustible en remolques de larga distancia, o neumáticos especializados para aplicaciones particulares, como el transporte de líquidos o carga a granel.

En la Tabla 1.2 se muestra una descripción detallada del siguiente código ejemplo: **LT 225/60 R16 97T M+S F**. Este tipo de codificación alfanumérica se encuentra impresa en el costado de los neumáticos y proporciona información según el tipo, aplicación o dimensiones particulares del neumático. Estos valores están regulados por normas internacionales de estandarización como las emitidas por la ETRTO (European Tyre and Rim Technical Organisation).

## SEÑALES DE NEUMÁTICOS PARA CAMIONES Y AUTOBUSES

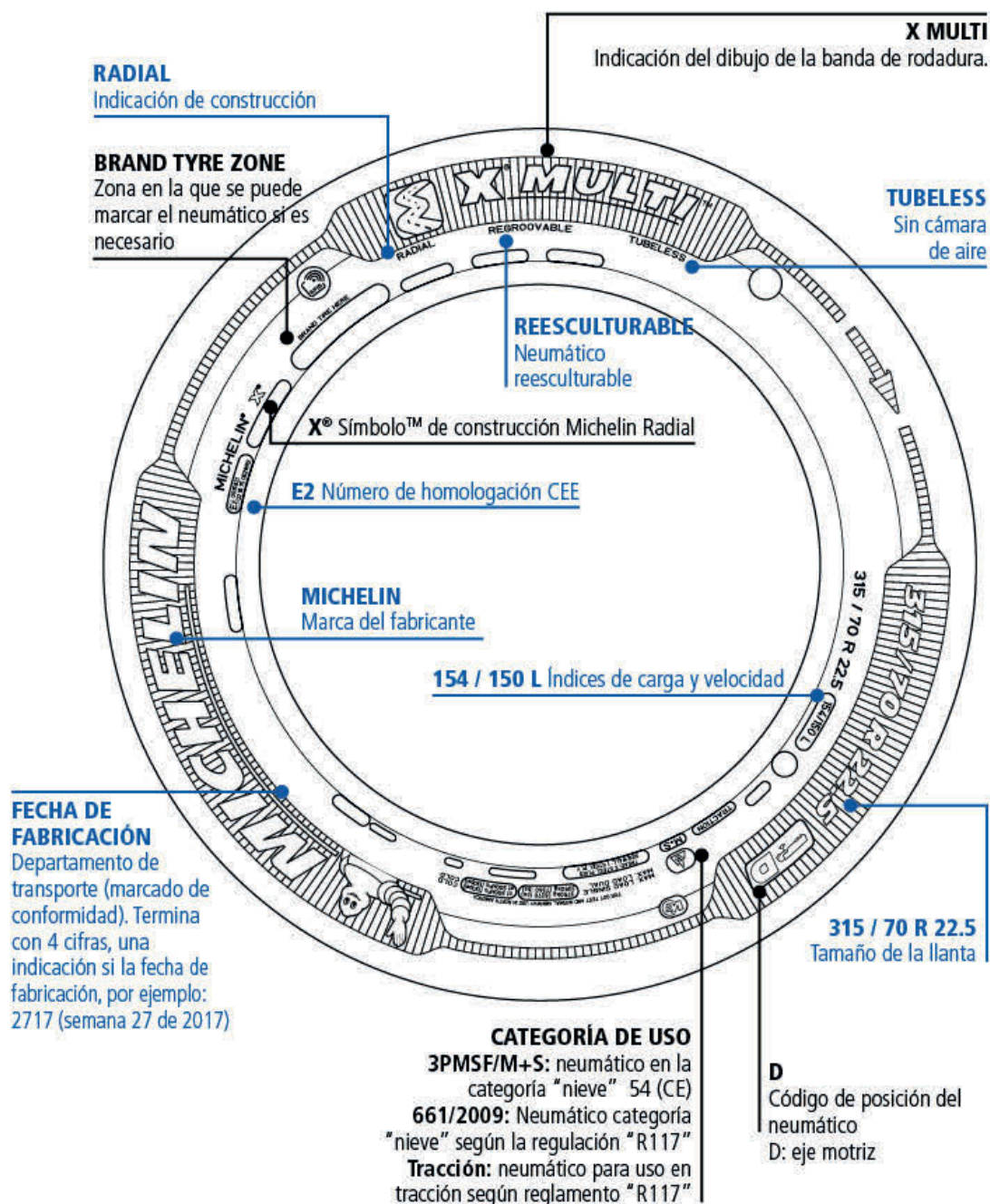


Figura 1.4: Significado de principales códigos de neumáticos para camiones (Michelin, 2023)

Tabla 1.2: Tabla de ejemplo para código de neumáticos

	Código	Descripción
Tipo de servicio	LT	Indica el tipo de servicio para el cual fueron contruidos. P= Diseñado para vehículos, que tienen como uso primario. T= Neumático de uso temporal, normalmente es neumático de refacción. LT= Indicativo de camión ligero que puede soportar cargas y remolcar. C= Neumático de uso comercial para furgonetas o camiones. ST= Neumático especial para remolques.
Anchura del neumático	225	Este código representa el ancho de la pisada del neumático en milímetros, es decir, es la sección de rodamiento del neumático.
Serie o perfil	60	Se expresa como un porcentaje (%). Indica la relación entre la altura del neumático y su anchura. Por ejemplo, en un neumático 225/60 R16, el "60" significa que la altura del neumático es el 60 % de su anchura.
Estructura	R	Se refiere a que la llanta tiene una estructura radial. Hoy en día casi todos los neumáticos modernos son radiales. También existe la estructura "D" que se refiere a que es diagonal.
Diámetro	16	Esto habla del diámetro en pulgadas que existe en la parte interna de la cara del neumático. Normalmente es el tamaño del "rin" que usa ese neumático.
Índice de carga	97	Este número permite conocer lo máximo recomendado que puede soportar de carga el neumático. Véase Tabla 1.3
Código de velocidad	T	Esta letra expresa el máximo de velocidad recomendado al que debe rodar el neumático. Véase Tabla 1.4
Tipo de uso	M+S	Aquí se refiere al tipo de suelo en el que se comporta mejor este neumático, normalmente se nota la diferencia por el tipo de huella. A-T= Neumático todo terreno. M-S= Lodo o nieve H-T= Asfalto
Posición	D	Se indica la posición de eje donde es recomendado usar el neumático. D= Tracción. T= Remolque - eje libre. Z= Para toda posición. F= Eje Direccional.

Tabla 1.3: Tabla reducida de índice de carga (ISO Standard 28580, 2018)

Código	Kilos	Código	Kilos
60	250	115	1215
61	257	116	1250
62	265	117	1285
63	272	118	1320
64	280	119	1360
65	290	120	1400
66	300	121	1450
67	307	122	1500
68	315	123	1550
69	325	124	1600
70	335	125	1650

Tabla 1.4: Tabla reducida de índice de velocidad. (ISO Standard 28580, 2018)

Código	km/h	Código	km/h
A1	5	S	180
A2	10	T	190
A3	15	U	200
B	50	H	210
C	60	V	240
D	65	ZR	> 240
E	70	W	270
F	80	Y	300

### 1.3. Clases y tipos de ejes

Los ejes de un vehículo son los conjuntos sobre los cuales descansa el chasis y la carrocería del vehículo, y en general está formado en conjunto con la suspensión y las ruedas. Los ejes pueden ser rígidos o no, y al mismo tiempo motrices o direccionales. Un vehículo pesado tiene la característica de que puede tener diferentes configuraciones en sus ejes, es claro que cada vehículo no podrá cambiar de configuración, ya que así está determinado de fábrica. Por lo tanto, cuando se va a adquirir una flotilla de vehículos pesados, se debe saber cual será el uso que se le dará a dicho vehículo para así adquirir dentro de toda la gama de posibilidades, el vehículo que sea más apto para la tarea a realizar. En este caso se hablará sobre la configuración de ejes, que tiene la principal característica de soportar el peso del vehículo más la carga que transportará.

Existen dos categorías de ejes en un vehículo: el delantero y el trasero. Cada uno desempeña funcio-

nes específicas y presenta características distintivas. Ambos ejes pueden clasificarse como motrices, direccionales o portadores. El término “eje motriz” o “tractor” se asigna al eje responsable de generar tracción y movimiento al vehículo. Por otro lado, el “eje direccional” se refiere al eje con capacidad de giro, pudiendo ser también motriz. Finalmente, el “eje portador” cumple la función de proporcionar apoyo a la carga.<sup>2</sup> Es común que, en determinadas circunstancias donde el vehículo no transporta carga, los ejes portantes se desactiven. Esto implica elevarlos y acoplarlos al chasis para evitar el contacto con el suelo, reduciendo así la resistencia por rodadura y mejorando la eficiencia del consumo de combustible. En el contexto de tractocamiones o camiones, los ejes se elevan para dejar operativo solo el eje motriz. En el caso de semirremolques, se elevan la mayoría de los ejes portantes para mantener solo uno en contacto con la superficie, como se ilustra en la Figura 1.5. Una característica determinante para identificar si un eje es motriz radica en la presencia, en su parte central, del grupo diferencial<sup>3</sup>, tal como se muestra en la Figura 1.6. Es esencial destacar que, además del peso de la masa suspendida en estado estático, los ejes soportan fuerzas dinámicas, centrífugas y de frenada. Estas fuerzas son cruciales para comprender la resistencia y comportamiento dinámico del sistema vehicular.

En tablas siguientes se muestran las distintas configuraciones que existen motriz, direccional y portador, se muestran el máximo peso recomendado que debe cargar por número de neumáticos en cada eje.



Figura 1.5: Eje loco elevado

<sup>2</sup>Al eje portador también se le conoce como eje portante o Eje loco.

<sup>3</sup>En países como México, comúnmente se le llama “Calabazo” al diferencial.



Figura 1.6: Diferencial o calabazo (QR)

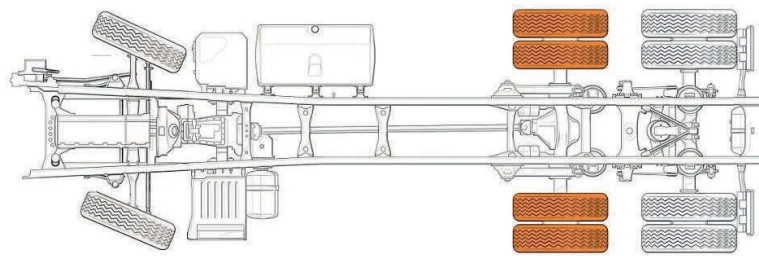
### 1.3.1. Ejes simples, tandem, tridem y torton

Los términos “eje simple”, “tándem”, “tridem” y “torton” se utilizan para describir diferentes configuraciones de ejes en vehículos, especialmente en camiones y otros vehículos comerciales. Cada una de estas configuraciones de ejes tiene una utilidad específica y proporcionan características especiales a los vehículos, lo que los hace únicos y especializados para ciertas tareas (Condarco, 2016).

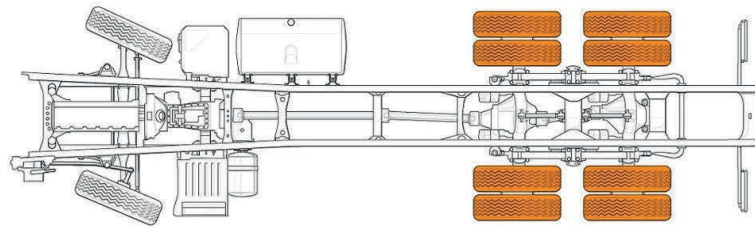
- Eje Simple: Un eje simple se compone de un solo juego de ruedas en un extremo del eje. Cuando el eje es simple debe ser motriz. Tabla 1.5.
  - Características: Es la configuración más básica y común. Puede estar ubicado en el eje delantero o trasero del vehículo.
  - Uso común: Se utiliza en vehículos ligeros y algunos camiones medianos. Proporciona una capacidad de carga adecuada para aplicaciones de transporte más livianas.
  - Desventajas: Puede tener limitaciones en términos de capacidad de carga en comparación con configuraciones de ejes múltiples. Puede experimentar una distribución de peso menos eficiente en ciertas situaciones.
  
- Eje tándem: Un eje tándem consiste en dos conjuntos de ruedas en los extremos del eje. Cuando el eje es tándem uno de los ejes es motriz y el otro portante. Tabla 1.6.
  - Características: Ofrece una mayor capacidad de carga y distribuye mejor el peso. Puede estar en el eje trasero o en ambos ejes.

- **Uso común:** Se utiliza en camiones medianos a pesados y vehículos que requieren una mayor capacidad de carga.
  - **Desventajas:** Aunque mejora la capacidad de carga en comparación con el eje simple, puede tener un mayor radio de giro y ser menos maniobrable en comparación con un solo eje, especialmente en vehículos más largos.
- **Eje Tridem:** Un eje tridem consta de tres conjuntos de ruedas en los extremos del eje. Cuando el eje es tridem uno de los ejes es motriz y los otros dos portantes. En algunos casos dos ejes pueden ser motrices, y uno portante. Tabla 1.7.
- **Características:** Proporciona una capacidad de carga aún mayor que el tándem. Distribuye el peso de manera más efectiva.
  - **Uso común:** Se utiliza en camiones pesados y vehículos especializados que necesitan transportar cargas significativas. Es común en aplicaciones de transporte de carga pesada.
  - **Desventajas:** Aunque ofrece una mayor capacidad de carga, también puede aumentar el costo y el peso total del vehículo. Puede tener restricciones en términos de regulaciones de peso y longitud en algunas regiones.
- **Eje Doble:** Un eje doble consta de dos juegos de ruedas en cada extremo del eje. Tabla 1.8.
- **Características:** Mejora la capacidad de carga y la distribución del peso debido a que sus ejes están separados por más de 2.4 metros. Se consideran dos ejes simples.
  - **Uso común:** Se utiliza en camiones pesados, remolques y otros vehículos comerciales que necesitan una mayor capacidad de carga y estabilidad principalmente por el exceso de largo de la carga.
  - **Desventajas:** El exceso de largo del semirremolque o remolque.
- **Eje Triple:** Un eje triple consta de tres juegos de ruedas en los extremos del eje. Tabla 1.9.
- **Características:** Mejora la capacidad de carga y la distribución del peso debido a que sus ejes están separados por más de 2.4 metros. Se consideran tres ejes simples.

- **Uso común:** Se utiliza en camiones pesados, remolques y otros vehículos comerciales que necesitan una mayor capacidad de carga y estabilidad principalmente por el exceso de largo de la carga, aún mayor que un eje doble.
  - **Desventajas:** El exceso de largo del semirremolque o remolque.
- **Eje torton:** El término Torton se emplea para referirse a un camión con una configuración de ejes tándem, donde ambos ejes son motrices. En situaciones comunes, un camión con un eje tridem también puede ser clasificado como "torton". Esto implica que, en determinados casos, un vehículo puede ser tándem sin ser torton, o bien, puede ser tanto tándem como torton al mismo tiempo. De manera similar, un vehículo puede ser tridem y, al mismo tiempo, cumplir con la clasificación de torton. La identificación de un vehículo como tándem se basa en la presencia de un diferencial en al menos uno de los ejes motrices, mientras que el eje portante carece de dicho componente. En este sentido, si dos de estos ejes motrices están equipados con diferenciales (Figura 1.8), se considera que el vehículo posee la configuración de torton. Este criterio técnico permite una clasificación precisa de los camiones según su disposición de ejes y contribuye a una comprensión detallada de su funcionamiento, en las siguientes figuras es posible ver la diferencia con un vehículo que no es torton y otro que sí lo es (Figura 1.7). En la Figura 1.7a se aprecia en sólo un eje el diferencial, lo que expresa claramente que sólo tiene tracción en dicho eje, por lo que ese camión no es torton. En la Figura 1.7b se aprecia como en los dos ejes hay un diferencial, por lo tanto, es un camión tipo torton.
- **Características:** Este tipo de vehículos tiene la característica de que puede usar la tracción motriz en los dos ejes o sólo en uno, según se requiera, esto quiere decir que puede pasar de ser un eje torton a un eje portante según sea requerido, así como lo hacen los vehículos 4x4.
  - **Uso común:** Se utiliza principalmente cuando es requerido mover mucho peso o pasar por caminos de difícil acceso, ya que con motricidad en dos ejes mejora la tracción significativamente.
  - **Desventajas:** Mayor consumo de combustible.



(a) Eje tándem



(b) Eje torton

Figura 1.7: Diferencia vehículo tándem y torton. (Scania México, 2021)



Figura 1.8: Eje torton. Nótese un calabazo en cada eje

Tabla 1.5: Eje simple.

	<p>Dos neumáticos [7 Toneladas]. Un solo eje que puede ser motriz, direccional o portador.</p>
	<p>Cuatro neumáticos [11 Toneladas]. A este tipo de configuración se le conoce como doble rodado o de Yoyo. Eje que puede ser motriz o portante.</p>

Tabla 1.6: Eje tandem.

	<p>Cuatro neumáticos [10 Toneladas]. Dos ejes articulados separados por una distancia menor a 2.4 metros. Un eje puede ser motriz y el otro portador, en caso de que los dos sean motrices se le conoce como Torton.</p>
	<p>Seis neumáticos [14 Toneladas]. Cada eje puede ser motriz o portador. También puede ser torton.</p>
	<p>Ocho neumáticos [18 Toneladas]. Cada eje puede ser motriz o portador. También puede ser torton.</p>

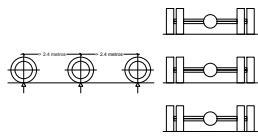
Tabla 1.7: Eje tridem.

	<p>Seis neumáticos [17 Toneladas]. Tres ejes articulados separados por una distancia menor a 2.4 metros. Uno o dos ejes pueden ser motrices y el otro portador.</p>
	<p>Diez neumáticos [21 Toneladas]. Tres ejes articulados separados por una distancia menor a 2.4 metros. Un par de doble rodado. Uno o dos ejes pueden ser motrices y el otro portador.</p>
	<p>Doce neumáticos [25 Toneladas]. Tres ejes articulados separados por una distancia menor a 2.4 metros. Uno o dos ejes pueden ser motrices y el otro portador.</p>

Tabla 1.8: Eje doble.

	<p>Ocho neumáticos [11 Toneladas por eje]. Dos ejes articulados separados por una distancia mayor a 2.4 metros. Uno eje puede ser motriz y el otro portante.</p>
--	--

Tabla 1.9: Eje triple.



Doce neumáticos [11 Toneladas por eje]. Tres ejes articulados separados por una distancia mayor a 2.4 metros. Un eje puede ser motriz y los otros dos portantes.

### 1.3.2. Tipos de tracción y dirección

Un eje direccional es un componente esencial de un vehículo con la capacidad de girar, posibilitando que las ruedas conectadas a dicho eje cambien de dirección. Su función principal radica en facilitar el control y la maniobrabilidad del vehículo. La presencia de ejes direccionales puede variar según el diseño y la configuración específica del vehículo. En vehículos de cuatro ruedas, es típico que el eje delantero actúe como un eje direccional. En vehículos más grandes o de carga, como camiones y autobuses, es común encontrarse con múltiples ejes direccionales para mejorar la maniobrabilidad. Vale la pena señalar que, a pesar de la tendencia general, existen vehículos de cuatro ruedas donde el eje direccional se encuentra en la parte trasera, como es el caso de algunos montacargas. Véase Figura 1.9. Esta variación en la disposición de los ejes direccionales se adapta a las necesidades específicas de distintos tipos de vehículos y entornos de uso .

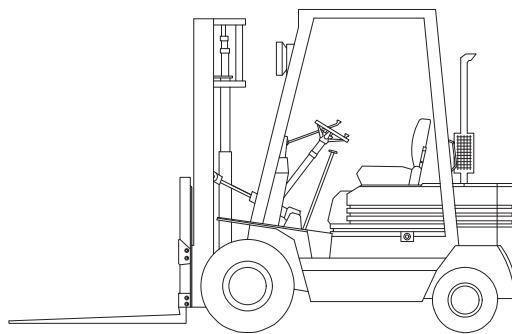


Figura 1.9: Montacargas

#### 1.3.2.1. Dos o más ejes direccionales

De manera similar, algunos vehículos, por necesidades particulares como mayor control, mejora en la maniobrabilidad y mayor capacidad de carga, incorporan dos o más ejes direccionales. Esta configu-

ración les proporciona una ayuda significativa en sus tareas diarias. En la Figura 1.10, se presentan ejemplos de vehículos que cuentan con dos o más ejes direccionales, ilustrando cómo esta disposición contribuye a optimizar la conducción y la capacidad de carga de dichos vehículos.



Figura 1.10: Vehículos con dos o más ejes direccionales

### 1.3.2.2. Tercer eje direccional

Existe un término conocido como “tercer eje direccional”. Este tipo de vehículos, equipados con un tercer eje direccional, hace referencia exclusivamente a aquellos que incorporan un eje direccional adicional situado en la parte trasera del vehículo, opuesto al eje de dirección principal. Esto implica que este tercer eje gira en dirección opuesta al eje direccional principal, desempeñando un papel significativo en la reducción del radio de giro de camiones o tractocamiones. Estos ejes innovadores son cada vez más comunes en vehículos pesados y, más recientemente, también se están introduciendo en vehículos particulares. Uno de los ejemplos más destacados de vehículos que incorporan este tipo de tercer eje direccional son los autobuses B3. En la Figura 1.11 y 1.12 se ilustra la maniobrabilidad que este tipo de tercer eje direccional aporta, permitiendo giros más cerrados y mejorando la capacidad de maniobra del vehículo.



Figura 1.11: Tercer eje direccional



Figura 1.12: Ejemplo de un 3er eje direccional en un autobús Scania. (Scania AB, 2005)

### 1.3.3. Clasificación por tracción

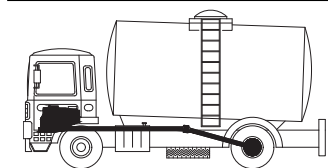
La configuración vehicular se define por el tipo de tracción que el vehículo posee, lo cual debe ser claramente especificado. Es frecuente encontrar vehículos con una configuración 4X2, lo que indica que cuentan con cuatro ruedas, de las cuales dos proporcionan tracción. En términos técnicos, esto implica que uno de los dos ejes es tractor, mientras que el otro es portante. Para vehículos de turismo, la configuración 4X2 es la más habitual, si bien rara vez se hace mención explícita de ello debido a que es el estándar en la mayoría de los vehículos, sin importar si es tracción delantera o trasera.

Es relevante destacar que no se precisa cuál de los ejes es el tractor, ya sea el delantero o el trasero, dado que esta distinción carece de importancia en este contexto y tampoco se considera si el eje es doble rodado, por lo que cada eje siempre se considerará con sólo un par de ruedas. Por otra parte, en el caso de vehículos pesados, es común, e incluso lógico, que la tracción sea trasera, ya que es en la parte posterior del vehículo donde se concentra la carga, y por consiguiente, donde se requiere la tracción para impulsarla. Un ejemplo ilustrativo para comprender esta dinámica es al comparar un camión tándem con un torton. Mientras que el torton se caracteriza por contar con tracción en los dos ejes traseros, lo que lo clasifica como un vehículo 4X4, un tandem típicamente sería un 4X2. Sin embargo, al igual que con los ejes, existen numerosas configuraciones diferentes, cada una con sus propias ventajas y desventajas (Méndez et al., 2013).

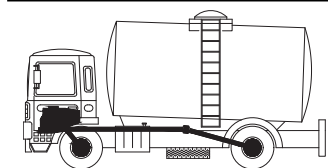
En la Tabla 1.10, 1.11 y 1.12 se presentan ejemplos que explican la clasificación por tracción de un mismo vehículo, utilizando la notación  $NxZ/L$ , donde "N" representa el número total de ruedas en

servicio, “Z” el número de ruedas tractoras, y “L” el número de ruedas directrices. En cada dibujo, se indica con una marca en color negro en el “rin” las ruedas que proporcionan tracción.

Tabla 1.10: Tipos de tracción y rodaje en los camiones de dos ejes

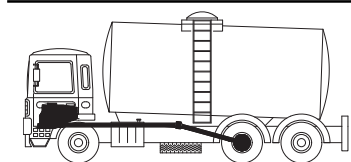


**4X2** Vehículo con cuatro ruedas y sólo tracción en dos de ellas, es decir: Dos ejes y tracción en uno, el trasero.

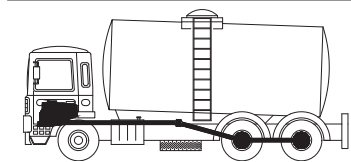


**4X4** Vehículo con tracción en las cuatro ruedas.

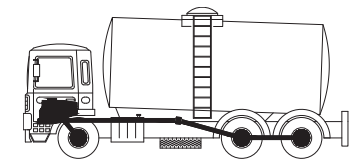
Tabla 1.11: Tipos de tracción y rodaje en los camiones de tres ejes



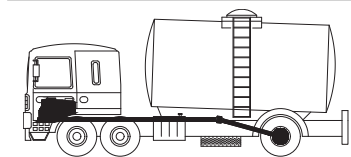
**6X2** Vehículo con seis ruedas y sólo tracción en dos de ellas. Es común para estos vehículos que el eje tractor sea el que se encuentra más cercano a la cabina, casi por debajo de la “quinta rueda” (Véase sección 1.4).



**6X4** Vehículo con tracción en las cuatro ruedas. En algunos casos este tipo de vehículos tiene la capacidad de activar o desactivar uno de sus diferenciales, esto quiere decir que puede hacer un eje tractor se vuelva portante y viceversa.

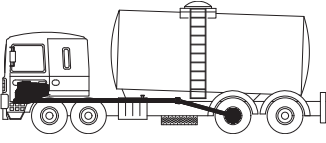
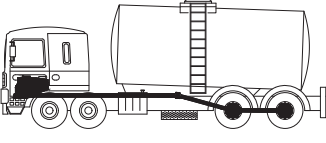
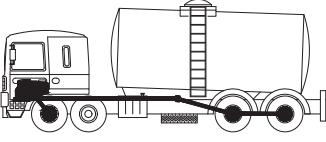


**6X6** Vehículo con seis ruedas y tracción en las seis ruedas.



**6X2/4** Vehículo de seis ruedas con tracción en dos de ellas y con cuatro ruedas direccionales. Quiere decir que dos de sus ejes tienen la capacidad de girar. Este ejemplo se puede ver también en la Figura 1.12

Tabla 1.12: Tipos de tracción y rodaje en los camiones de dos ejes

	<b>8X2/4</b> Vehículo de ocho ruedas con tracción en dos de ellas y con cuatro ruedas direccionales. Quiere decir que dos de sus ejes tienen la capacidad de girar.
	<b>8X4/4</b> Vehículo de ocho ruedas con tracción en cuatro de ellas y cuatro ruedas direccionales.
	<b>8X6/4</b> Vehículo de ocho ruedas con tracción en seis de ellas y cuatro ruedas direccionales.

## 1.4. Conjunto de acoplamiento de quinta rueda

La quinta rueda, también conocida como acoplador de quinta rueda o enganche de quinta rueda, es un componente esencial en vehículos pesados, especialmente en camiones de carga y remolques. Su función principal es facilitar la conexión entre un camión tractor y un remolque. La quinta rueda forma parte del sistema de enganche y permite que el remolque sea tirado por el tractocamión. Este dispositivo toma su nombre porque, en su diseño clásico, consta de un platillo en forma de disco que se monta en la parte trasera del chasis del tractocamión. Este platillo tiene un mecanismo de bloqueo y está montado en la parte superior de un soporte vertical, de manera que puede pivotar hacia adelante y hacia atrás. El remolque, a su vez, está equipado con un perno que se engancha en el platillo del camión. Véase Figura 1.13.

El conjunto de quinta rueda en el remolque consta de una placa horizontal con un mecanismo de bloqueo (Figura 1.14), generalmente en forma de perno<sup>4</sup>, que se conecta con el platillo en el camión tractor. Este diseño permite una conexión segura y eficiente, y también permite que el remolque gire alrededor de un punto central, facilitando las maniobras. La conexión de quinta rueda es ampliamente utilizada en el transporte de carga pesada y se ha convertido en un estándar en la industria del transporte por carretera. Los camiones con quinta rueda pueden transportar diversos tipos de semirremolques o como remolques secos, cisternas, plataformas planas y otros, proporcionando fle-

<sup>4</sup>Comúnmente se le conoce como Perno rey.

xibilidad y eficiencia en el transporte de mercancías. (Se hablará de los remolques y semirremolques en el siguiente capítulo.)



Figura 1.13: Quinta rueda

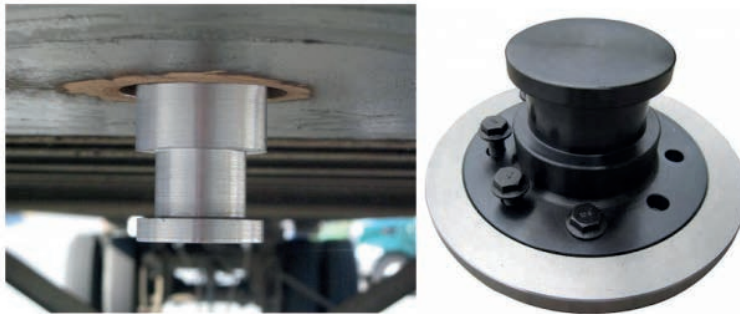


Figura 1.14: Sistema de acople de la quinta rueda (perno rey)

## 1.4.1. Remolques y semirremolques

### 1.4.1.1. Remolque

Un remolque es un vehículo sin motor diseñado para ser remolcado por otro vehículo, generalmente un camión o automóvil. Se utiliza para transportar una variedad de cargas y puede tener diversas configuraciones según el tipo de carga que transporta. Véase Figura 1.15 Algunas características comunes de los remolques son:

**Independencia de Propulsión:** Los remolques no tienen motor propio y dependen de un vehículo remolcador para moverse.

**Variedad de Tipos:** Pueden venir en diferentes formas y tamaños, desde remolques de carga seca cerrados hasta remolques de plataforma abierta y remolques especializados para transportar embar-

caciones, vehículos u otros objetos.

**Conexión:** Se conectan al vehículo remolcador mediante un mecanismo de enganche, como una bola de remolque.

**Uso Versátil:** Los remolques se utilizan para transportar una amplia gama de mercancías y bienes, desde muebles y equipos hasta vehículos recreativos y barcos.



Figura 1.15: Ejemplo de remolque

#### 1.4.1.2. Semirremolque

Un semirremolque es un vehículo sin motor diseñado para ser remolcado por un tractocamión. Su distinción principal con respecto a un remolque convencional radica en su diseño y el método de conexión al vehículo remolcador, ya que requiere de una quinta rueda para ser remolcado. En determinadas situaciones, se puede agregar un par de ejes con quinta rueda a un semirremolque para permitir su acople y remolque por un camión, como se ilustra en la Figura 1.16. En algunos países, este tipo de semirremolques se conoce comúnmente como Tráiler. Es importante señalar que, en ocasiones, se produce confusión al utilizar el término “tráiler” para referirse al conjunto completo de tractocamión y semirremolque, lo cual es un error, ya que “tráiler” se refiere exclusivamente al semirremolque. Véase Figura 1.17. Algunas características destacadas de los semirremolques incluyen:

**Conexión Articulada:** Los semirremolques tienen una conexión articulada con el vehículo remolcador. Esta conexión se realiza mediante un dispositivo llamado quinta rueda o enganche de quinta rueda.

**Diseño de Dos Partes:** Se componen de dos partes principales: la parte delantera, que se conecta al vehículo remolcador, y la parte trasera, que lleva la carga.

**Mayor Estabilidad:** La conexión articulada proporciona una mayor estabilidad y permite que el vehículo remolcador y el semirremolque puedan maniobrar de manera más eficiente.

**Uso en el Transporte de Carga:** Los semirremolques son comúnmente utilizados en el transporte de carga pesada en carreteras. Pueden ser remolcados por camiones tractores y se utilizan en aplicaciones como el transporte de contenedores, carga a granel, productos manufacturados, entre otros.



Figura 1.16: Ejemplo de semirremolque con acoplamiento para ser remolcado



Figura 1.17: Ejemplo de semirremolque

Los remolques y semirremolques han experimentado una evolución continua con el objetivo de lograr mayor estabilidad, eficiencia en el consumo de combustible y maniobrabilidad. Como resultado, han surgido tipos especiales de remolques que se acoplan de maneras distintas a las mencionadas anteriormente, alterando la configuración convencional. En la Figura 1.18 se presentan ejemplos de estos remolques y semirremolques especiales, note el tipo de acoplamiento y la posición de los ejes.



Figura 1.18: Ejemplo de remolques y semirremolques especiales

# Capítulo 2

## Clasificación de vehículos y subsistemas

### Introducción

La clasificación de un vehículo pesado implica la consideración minuciosa de factores como su masa, peso y dimensiones, y es un proceso complejo debido a las diversas características y usos que pueden tener, por lo que aquí se mostrará una clasificación que para algunos casos si está especificada en alguna norma, pero en otros no. Para la homologación efectiva de cualquier vehículo, resulta imperativo definir aspectos específicos como el peso del mismo vehículo, así como para cada uno de los ejes y la carga total del contenido transportado, comúnmente llamada carga útil, y de igual forma la capacidad de transportar esa carga y moverse, conocido de forma técnica como capacidad de arrastre. De manera paralela, las dimensiones del vehículo, incluyendo la longitud total y la distancia entre ejes, también deben ser rigurosamente especificadas. En el ámbito del peso, es esencial tener un conocimiento detallado de los diversos tipos de carga que aplican a los vehículos pesados. La Tabla 2.1 proporciona una explicación detallada de estos tipos de pesos.

Tabla 2.1: Tipos de pesos y cargas

Peso	Características
MMA (peso bruto)	Masa máxima autorizada, para circular
Tara	Peso del vehículo sin producto.
Carga útil	Peso del producto sin contenedor.

Es fundamental destacar que esta clasificación de vehículos, así como las regulaciones relacionadas con peso, dimensiones y otros aspectos, pueden variar sustancialmente según la región y el país. Sin embargo, a nivel internacional y nacional, existen organismos y normativas que desempeñan un papel crucial en la regulación de vehículos. En el caso de México, la normativa y regulación de vehículos se lleva a cabo a través de diversas instituciones y leyes. Algunos de los principales organismos e instrumentos legales incluyen:

**Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT):** La SCT es la entidad gubernamental encargada de regular el transporte en México. A través de la Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF), la SCT establece normas y regulaciones relacionadas con el transporte terrestre, incluyendo el peso y las dimensiones de los vehículos.

**Normas Oficiales Mexicanas (NOM):** Las NOM son regulaciones técnicas obligatorias en México que establecen los requisitos y especificaciones para diferentes productos y servicios, incluyendo vehículos. La SCT emite NOM específicas para vehículos y aspectos relacionados con su operación.

**Acuerdo Nacional para el Transporte Multimodal Sustentable (ANTMS):** Este acuerdo tiene como objetivo establecer políticas y acciones coordinadas para mejorar la eficiencia y seguridad en el transporte. Puede abordar aspectos relacionados con el peso, las dimensiones y otros temas relevantes.

**El Instituto Mexicano del Transporte (IMT):** Es una entidad gubernamental en México que tiene como objetivo principal contribuir al desarrollo sustentable del transporte en el país. Aunque el IMT no emite directamente normas o regulaciones, desempeña un papel importante en la investigación, análisis y asesoramiento técnico en temas relacionados con el transporte, incluyendo la regulación y clasificación de vehículos.

**Organización de las Naciones Unidas (ONU):** La Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE) establece regulaciones globales para la homologación de vehículos, incluyendo normas sobre seguridad, emisiones y eficiencia de combustible. El Acuerdo de 1958 y sus enmiendas (Acuerdo de Ginebra y Acuerdo de Viena) establecen estándares para la homologación de vehículos.

---

**Unión Europea (UE):** La UE tiene regulaciones específicas para la homologación de vehículos. La Comisión Europea emite directivas que establecen estándares para la seguridad, las emisiones y otros aspectos relacionados con los vehículos en los países miembros.

**Estados Unidos:** En los Estados Unidos, la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en Carreteras (NHTSA) establece normas de seguridad vehicular. La Administración Federal de Carreteras (FHWA) regula las normas de peso y dimensiones para vehículos de carga.

**Canadá:** En Canadá, Transport Canada establece normas para la seguridad y la emisión de vehículos. La Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos (CFIA) también regula aspectos relacionados con el transporte de mercancías.

**Normas ISO:** La Organización Internacional de Normalización (ISO) emite normas internacionales que pueden abordar diversos aspectos de los vehículos, como dimensiones, rendimiento y sistemas de gestión. A continuación, algunas de ellas:

- ISO 3833: Establece un sistema de designación para tipos de vehículos en relación con su utilización y características técnicas. El propósito principal de la norma es proporcionar un método estandarizado para la identificación y clasificación de diferentes tipos de vehículos. La designación propuesta incluye letras y números específicos que indican el uso principal del vehículo, su capacidad y otras características importantes. Esta norma es útil en el ámbito de la industria automotriz y facilita la comunicación entre fabricantes, reguladores y otros actores del sector al estandarizar la nomenclatura utilizada para describir los vehículos. La aplicación de la norma ayuda a evitar confusiones y malentendidos al proporcionar un sistema de designación comúnmente aceptado para los diferentes tipos de vehículos.
- ISO 6742: Proporciona un conjunto de términos y definiciones relacionados con vehículos de carretera, lo que facilita la comunicación y comprensión común en la industria.
- ISO 3779: Proporciona principios generales de identificación de vehículos y requisitos mínimos para la identificación de vehículos en lo que respecta a la utilización y la capacidad de carga.
- ISO 6469: Esta norma establece los términos, definiciones y métodos de medición relacionados con la seguridad eléctrica de vehículos eléctricos.

- ISO 6460: Ofrece directrices sobre la nomenclatura y la designación de vehículos ferroviarios.

**Normas Nacionales:** Cada país suele tener sus propias normativas y regulaciones para los vehículos.

Estas pueden abordar aspectos como la seguridad, las emisiones, el peso y las dimensiones.



ISO  
3833

- Norma Oficial Mexicana (NOM)
  - NOM-012-SCT-2-2017: Sistema de Identificación y Comunicación de Unidades de Auto-transporte Federal que Transitan en los Estados Unidos Mexicanos.
  - NOM-002-SCFI-2011: Productos. Información comercial. Etiquetado de vehículos de autotransporte nuevos.
  - NOM-003-SCT-2000: Transportes terrestres. Sistema de identificación y comunicación de unidades de autotransporte federal.
  - NOM-041-SCT2-2011: Que establece las especificaciones de color y leyendas de identificación de los vehículos que prestan el servicio de autotransporte federal de carga y autobuses de pasajeros.
- Norma Mexicana (NMX): Son normas técnicas desarrolladas en México para estandarizar productos, procesos, servicios y sistemas en diversos sectores. Estas normas son emitidas por organismos privados reconocidos como Organismos Nacionales de Normalización (ONN), que están acreditados y supervisados por la Secretaría de Economía.
  - NMX-R-032-SCFI-2016: Neumáticos nuevos para automóviles y camiones ligeros.
  - NMX-R-050-SCFI-2016: Baterías de arranque para vehículos automotores.
  - NMX-R-057-SCFI-2015: Motocicletas - Especificaciones y métodos de prueba.



NOM  
012

Cabe destacar que los pesos y dimensiones máximas están reglamentados por la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017. Esta normativa establece las pautas sobre los pesos y dimensiones máximas permitidos para los vehículos de autotransporte que circulan en las vías generales de comunicación bajo jurisdicción federal (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2017).

Es importante señalar que la regulación específica puede cambiar con el tiempo, y es necesario mantenerse actualizado con las normativas más recientes. Además, las regulaciones pueden abordar una variedad de aspectos, incluyendo la seguridad vehicular, las emisiones, el peso máximo permitido, las dimensiones de los vehículos, entre otros. Los transportistas, fabricantes de vehículos y otros actores del sector deben estar familiarizados con las regulaciones vigentes y trabajar en cumplimiento con las normativas para garantizar operaciones seguras y legales en el país.

## 2.1. Clasificación por clase

La clasificación de vehículos se emplea principalmente en las categorías de licencias de conducir, asignando distintos vehículos para definir los requisitos necesarios para operarlos. Se recurre a una nomenclatura específica para determinar de forma clara y rápida la clase de vehículo, lo que permite referirse a él de manera precisa. En la Tabla 2.2 se muestra la clase de vehículos junto a su nomenclatura que hace referencia al número de ejes. Y al igual que la clase y configuración de los vehículos en las siguientes tablas de nomenclaturas 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6 se muestra la categoría de los diferentes tipo de vehículos basados en la norma anteriormente mencionada.

Tabla 2.2: Tabla de clases de vehículos y su nomenclatura

Clase: Vehículo	Nomenclatura
Autobús	B
Camión unitario	C
Tractocamión	T
Convertidor	D
Camión remolque	C-R
Tracto camión articulado	T-S
Tractocamión doblemente articulado	T-S-R y T-S-S

Tabla 2.3: Nomenclatura para autobuses

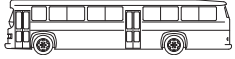


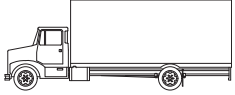
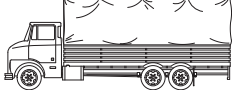
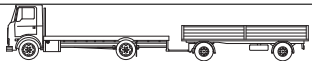


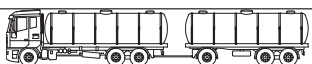
Autobuses (B)			
Nomenclatura	Número de ejes	Número de llantas	Vehículo
B2	2	6	
B3	3	8 ó 10	
B4	4	10	

Tabla 2.4: Nomenclatura para camiones

Camión unitario (C)			
Nomenclatura	Número de ejes	Número de llantas	Vehículo
C2	2	6	
C3	3	8 ó 10	
Camión-Remolque (C-R)			
Nomenclatura	Número de ejes	Número de llantas	Vehículo
C2-R2	4	14	
C3-R2	5	18	
C2-R3	5	18	
C3-R3	6	22	

## 2.2. Clasificación por categoría

Además de la clasificación por número de ejes, se presenta la clasificación por tipo de servicio, la cual indica si se trata de vehículos de carga, transporte de pasajeros o vehículos de menos de cuatro ruedas. A su vez en cada una de las tablas de nomenclatura se debe aclarar que las combinaciones

Tabla 2.5: Nomenclatura para tractocamiones articulados

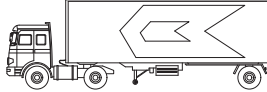

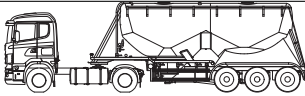

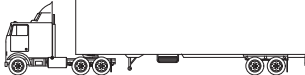
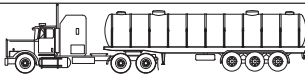




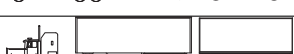
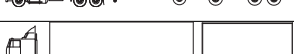


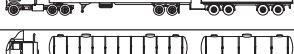
Tractocamión y semirremolque (T-S)			
Nomenclatura	Número de ejes	Número de llantas	Vehículo
T2-S1	3	10	
T2-S2	4	14	
T2-S3	5	18	
T3-S1	4	14	
T3-S2	5	18	
T3-S3	6	22	

Tabla 2.6: Nomenclatura para tractocamiones articulados con remolque

Tractocamión, Semirremolque, Remolque (T-S-R)			
Nomenclatura	Número de ejes	Número de llantas	Vehículo
T2-S1-R2	5	18	
T2-S2-R2	6	22	
T2-S1-R3	6	22	
T3-S1-R2	6	22	
T3-S1-R3	7	26	
T3-S2-R2	7	26	
T3-S2-R3	8	30	
T3-S2-R4	9	34	
T3-S3-R3	9	34	

en números de ejes de semirremolques y remolques puede ser de una gran variedad dependiendo de las necesidades.

Las clasificaciones de vehículos tipo M y N son categorías definidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017 para los vehículos de autotransporte. Estas categorías se especifican de la siguiente manera:

### 2.2.1. Categoría L

Vehículo automotor con menos de cuatro ruedas (motocicletas o triciclos).

- Categoría L1: Vehículos con dos ruedas con una cilindrada que no exceda los 50 cc y una velocidad de diseño máxima no mayor a 40Km/h.
- Categoría L2: Vehículos con tres ruedas con una capacidad de cilindrada que no exceda los 50 cc y una velocidad de diseño máxima no mayor a 40 Km/h.
- Categoría L3: Vehículos con dos ruedas con una capacidad de cilindrada mayor a los 50 cc o una velocidad de diseño superior a los 40 Km/h.
- Categoría L4: Vehículos con tres ruedas colocadas en posición asimétrica en relación al eje longitudinal medio, con una capacidad de cilindrada mayor a los 50 cc o una velocidad de diseño superior a los 40 Km/h (motocicleta con *Sidecar*).

En la Figura 2.1 se puede observar un ejemplo de un vehículo de categoría “L4”.

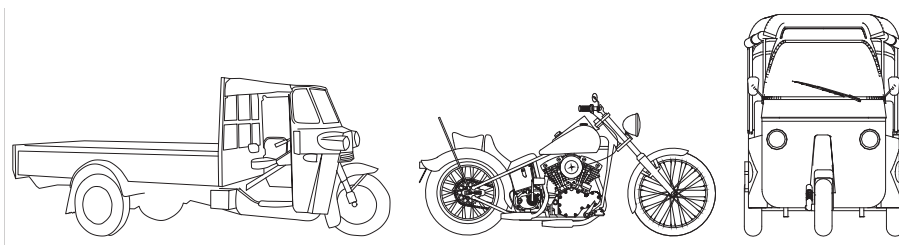


Figura 2.1: Ejemplo de vehículos categoría L4

### 2.2.2. Categoría M

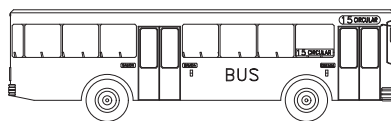
Son vehículos de auto-transporte de pasajeros, es decir, aquellos que se utilizan para transportar personas. Esta clasificación incluye a los siguientes tipos de vehículos:

- Categoría M1: Vehículo para transporte de pasajeros y que no contenga más de 8 asientos además del asiento del conductor.
- Categoría M1 (a): Los vehículos que tengan 3 o 5 puertas y ventanas laterales detrás del conductor, no excediendo un peso máximo cargado de 3.5 toneladas., diseñado y construido originalmente para el transporte de pasajeros, pero el cual también pueda ser adaptado, o parcialmente adaptado, para el transporte de carga por plegado o remoción de los asientos situados detrás del asiento del conductor.
- Categoría M1 (b): Los vehículos diseñados y construidos originalmente para el transporte de cargas pero que han sido adaptados con asientos fijos o re-plegables detrás del asiento del conductor para el transporte de más de 3 pasajeros, y vehículos diseñados y equipados para suministrar viviendas móviles en ambos casos, teniendo un peso máximo cargado que no exceda las 3.5 toneladas.
- Categoría M2: Vehículos para transporte de pasajeros con más de ocho asientos además del asiento del conductor, y que no excedan el peso máximo de 5 toneladas.
- Categoría M3: Vehículos para transporte de pasajeros con más de ocho asientos además del asiento del conductor, y que tengan un peso máximo mayor a las 5 toneladas.

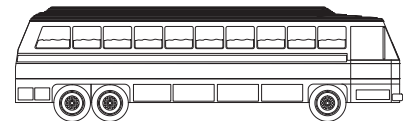
En la Figura 2.2 se puede observar un ejemplo de un vehículo de categoría “M”. En 2.2a con categoría M1, 2.2b con categoría M2 y 2.2c con categoría M3.



(a) Categoría M1



(b) Categoría M2



(c) Categoría M3

Figura 2.2: Vehículos de categoría M

### 2.2.3. Categoría N

Son vehículos de auto-transporte de carga, es decir, aquellos que se utilizan para transportar mercancías. Esta clasificación incluye a los siguientes tipos de vehículos: camiones unitarios, tractocamiones,

camiones remolque, tractocamiones articulados, tractocamiones doblemente articulados y tractocamiones triplemente articulados.

- Categoría N1: Vehículos utilizados para transporte de carga y con un peso máximo que no exceda las 3.5 toneladas.
- Categoría N2: Vehículos utilizados para transporte de carga y con un peso máximo superior a las 3.5 toneladas, pero que no exceda las 12 toneladas.
- Categoría N3: Vehículos utilizados para transporte de carga y con un peso máximo superior a las 12 toneladas.

En la Figura 2.3 se puede observar un ejemplo de un vehículo de categoría "N". En 2.3a con categoría M1, 2.3b con categoría M2 y 2.3c con categoría M3.

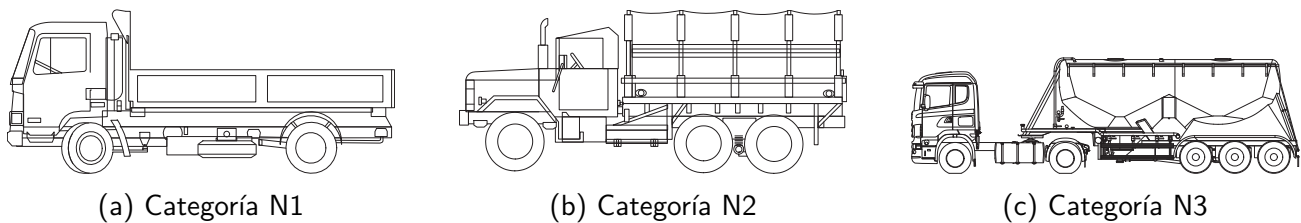


Figura 2.3: Vehículos de categoría N

#### 2.2.4. Categoría O

Acoplados incluyendo semiacoplados. Dependiendo del país, se le puede conocer como acoplamiento o remolque, de igual manera el semiacoplado se refiere al semirremolque.

- Categoría O1: Remolque con un eje, que no sea semirremolque, con un peso máximo que no exceda las 0.75 toneladas.
- Categoría O2: Remolque con un peso máximo que no exceda las 3.5 toneladas, que no sean los remolques de categoría O1.
- Categoría O3: Remolque con un peso máximo superior a las 3.5 toneladas pero que no exceda las 10 toneladas.

- Categoría O4: Remolques con un peso máximo superior a las 10 toneladas.
- Categoría B: No confundir con clasificación “B” que hace referencia a autobuses. Esta categoría se refiere a remolques del tipo “Balancín”, lo que significa que sus ejes se encuentran justo en el centro del remolque, lo que les permite mayor movilidad sacrificando estabilidad.

En la Figura 2.4 se puede observar un ejemplo de remolques de categoría “O”. En 2.4a con categoría “O1”, 2.4b con categoría “O2” y 2.4c con categoría B.



(a) Categoría O2



(b) Categoría O3



(c) Categoría B

Figura 2.4: Remolques de categoría O

### Con respecto a categorías M y N

En el caso de un vehículo motriz diseñado para ser acoplado a un semirremolque, el peso máximo que se debe considerar para su clasificación es el peso del vehículo motriz en carretera, incrementado por el peso máximo que el semirremolque transfiere al vehículo motriz y cuando corresponda, incrementado por el peso máximo de la carga del vehículo automotriz. Los equipos e instalaciones realizadas para propósitos específicos en los vehículos no diseñados para el transporte de pasajeros (grúas, vehículos para industrias, vehículos para publicidad, etc.) se asimilarán con las características de la categoría N.

### Con respecto a la categoría O.

En el caso de un semirremolque, el peso máximo que se debe considerar para la clasificación del mismo es el peso transmitido al suelo por el eje o los ejes del semirremolque, cuando este último se encuentra acoplado al vehículo motriz y llevando su carga máxima.

## 2.3. Carrocería de los vehículos pesados o industriales

Los vehículos industriales desempeñan un papel fundamental en el transporte seguro y eficiente de pasajeros y mercancías. Su eficacia económica se basa en la relación entre el volumen total de construcción y el espacio útil, así como en la relación entre la carga útil y el peso total. Desde un punto de vista conceptual, es importante distinguir entre vehículos sin cofre<sup>1</sup> (*Cab Over*), donde el motor se encuentra debajo de la cabina del conductor (Figura 2.5), y vehículos con cofre (*Conventional Cab*), que tienen el motor situado delante de la cabina del conductor (Figura 2.6). Esta diferenciación influye en la distribución del peso y en la disposición general del vehículo, lo que a su vez afecta su rendimiento y maniobrabilidad.

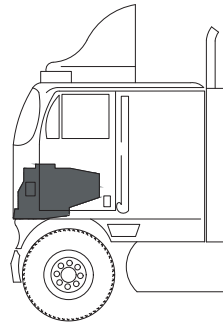


Figura 2.5: Ejemplo de cabina sin capó

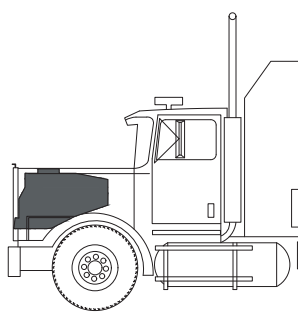


Figura 2.6: Ejemplo de cabina con capó

Si bien la norma ISO 3833 (ISO Standard 3833, 2005) establece la nomenclatura oficial para los diferentes tipos de vehículos industriales, es importante destacar que en diversas regiones del mundo pueden recibir nombres distintos. Estos vehículos desempeñan roles cruciales en una variedad de


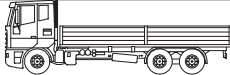


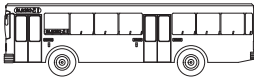
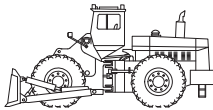

---

<sup>1</sup>También se le conoce como Capó.

sectores, desde la logística y el transporte de carga hasta la construcción y la agricultura, cada uno diseñado para cumplir con requisitos específicos de operación y rendimiento.

En el Anexo A se muestra la sistematización de los tipos de vehículos industriales según la ISO 3833 y la norma DIN 70010. En las Tablas 2.7, 2.8 y 2.9 se presenta una sinopsis de estos vehículos, organizados por tipo de cabina y sus denominaciones habituales. Más adelante, se detallará información sobre algunos de estos vehículos, incluyendo los nombres comúnmente utilizados en México.

Tabla 2.7: Sinopsis de vehículos industriales (Dietsche, 2005)

Sinopsis de vehículos industriales	
Nombre	Vehículo
Transportador	
Camión	
Camión con remolque	
Trailer con quinta rueda	
Autobús de viajeros	
Vehículo agrícola	
Camión de volteo	

### 2.3.1. Chasis

El chasis<sup>2</sup> es la estructura principal sobre la cual se construye un vehículo, como un automóvil, camión o autobús. Es la armazón que sostiene todos los componentes del vehículo, incluyendo el motor, la transmisión, la suspensión, la carrocería y otros sistemas. El chasis de los camiones está típicamente construido de acero de alta resistencia debido a su combinación de fuerza y ductilidad.

<sup>2</sup>En otros países es mejor conocido como Bastidor.

Tabla 2.8: Sinopsis de furgonetas (Dietsche, 2005)


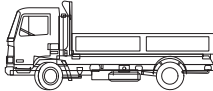


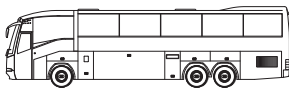
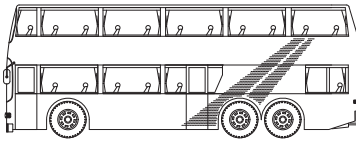

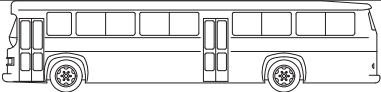
Sinopsis de furgones	
Nombre	Vehículo
Furgones o combis	
Camión	
Camión con remolque	

Tabla 2.9: Sinopsis de autobuses (Dietsche, 2005)

Sinopsis de autobuses	
Nombre	Vehículo
Microbuses	
Autobús urbano estándar	
Autobún de doble piso	
Autobús articulado	
Autobús interurbano	

En algunos casos, se utilizan materiales como el aluminio o compuestos avanzados para reducir el peso, mejorando la eficiencia de combustible y la capacidad de carga útil (Enebral, 2020). El chasis proporciona rigidez y resistencia al vehículo, asegurando que todos los componentes estén correctamente alineados y soportados. También distribuye las cargas y fuerzas generadas durante la conducción de manera uniforme por todo el vehículo. Figura 2.7.



Figura 2.7: Ejemplo de chasis (Hyundai Camiones, 2024)

#### 2.3.1.1. Componentes básicos del Chasis

- Longuerones: Son los largueros longitudinales que recorren todo el largo del camión, proporcionando la mayor parte de la rigidez y soporte estructural. Están hechos generalmente de acero de alta resistencia.
- Travesaños: Son las piezas transversales que conectan los longuerones, aumentando la rigidez del chasis y proporcionando puntos de montaje para otros componentes.
- Soportes y Montajes: Se utilizan para fijar diversos componentes del camión, como el motor, la cabina, el sistema de suspensión, y la caja de carga o remolque.
- Suspensión: Aunque no es parte del chasis en sí, la suspensión se monta sobre él y es crucial para el desempeño del chasis en términos de manejo y confort de conducción.

#### 2.3.1.2. Tipos de Chasis

- Chasis Convencional: Es el tipo más común, con una estructura robusta que soporta cargas pesadas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones, desde transporte de mercancías hasta vehículos de servicio pesado.
- Chasis de Cabina y Bastidor: Utilizado en camiones de reparto, ambulancias y otros vehículos especializados donde se requiere una plataforma flexible para montar diversas carrocerías.
- Chasis Integrado o Monocasco: Utilizado en algunos camiones ligeros y vehículos comerciales donde la carrocería y el chasis están integrados en una sola unidad estructural. Ofrece ventajas

en términos de peso y eficiencia, pero es menos flexible en términos de configuración y carga.

La importancia del chasis en la dinámica vehicular radica en su rigidez y resistencia, esenciales para soportar las cargas dinámicas y estáticas de un camión, lo que contribuye a su estabilidad, especialmente cuando está cargado. El diseño del chasis influye en la distribución del peso del camión y su carga, siendo crucial para la tracción, el frenado y la estabilidad en curvas (Dietsche, 2005). Además, debe ser compatible con el sistema de suspensión, proporcionando puntos de anclaje y soportando fuerzas durante la operación. Un chasis bien diseñado también ofrece versatilidad, permitiendo personalizaciones y adaptaciones para diferentes tipos de carrocerías y aplicaciones, desde transporte de carga hasta vehículos especializados como grúas y camiones de bomberos. .

### 2.3.2. Cabinas

La cabina de un camión es la parte del vehículo donde se encuentra el conductor y, a menudo, uno o más pasajeros. Es el espacio interior delantero del camión, donde se sitúan los asientos, el volante, los controles y otros dispositivos necesarios para la operación del vehículo, existen dos tipos principales, los camiones *Day Cab* o *Conventional Cab* y los *Cap Over* (Dietsche, 2005), cuya diferencia radica en la disposición del motor, ya sea por que el motor se encuentra frente al conductor (*Day Cab*) utilizado más comunmente en los E.U. y por lo tanto en Latinoamérica o los que tienen el motor debajo (*Cab Over*) que son mayormente utilizados en Europa.

Para comprender por qué los camiones de carga en Estados Unidos y Europa presentan diferencias tan notables. Basta con observar que, a pesar de su similitud en las décadas de 1950 y 1960, los camiones en estos continentes han evolucionado de manera distinta. La geografía es un factor clave en esta diferenciación.

Estados Unidos es un país vasto y predominantemente plano, con carreteras y autopistas amplias y largas. Las ciudades estadounidenses están diseñadas pensando en el automóvil, lo que proporciona más espacio y menos restricciones para vehículos grandes. Por el contrario, Europa, aunque también es extensa, tiene una geografía más accidentada, con numerosas montañas. Sus autopistas, aunque excelentes, son más angostas y tienen muchas curvas cerradas, al igual que sus calles, lo que complica las maniobras de camiones grandes.

Estas diferencias geográficas han influido significativamente en las regulaciones vehiculares de cada región. En Estados Unidos, los camiones de cabina sobre el motor (*Cab Over*) fueron populares en las décadas de 1950, 1960 y 1970, debido a una regulación que establecía que la longitud total del camión no debía superar los 19.81 metros. Esto permitía cabinas más largas y confortables para los conductores. Sin embargo, en 1976, una nueva regulación cambió el enfoque, limitando solo la longitud del remolque a 17.98 metros, lo que brindó más libertad a los diseñadores de camiones.

En Europa, la normativa más común, aunque con algunas excepciones, establece que la longitud total del camión, incluyendo la cabina y el remolque, no debe exceder los 18.75 metros. Dado que el remolque más largo permitido mide 13.95 metros, la cabina debe ser muy compacta para cumplir con esta restricción.

Estas regulaciones explican por qué los camiones europeos son compactos y funcionales, mientras que en Estados Unidos, la ausencia de límites estrictos para el tamaño de la cabina ha permitido a los diseñadores enfocarse en la comodidad de los conductores, muchos de los cuales son propietarios de sus camiones. Tener el motor delante, en lugar de debajo de la cabina, ofrece varias ventajas clave que han influido en el diseño distintivo de los camiones estadounidenses.

Esta comparación subraya cómo las necesidades geográficas y las regulaciones regionales han dado forma a las características y el diseño de los camiones en diferentes partes del mundo. Existen varios tipos de cabinas de camión, cada una con sus propias características, función, ventajas y desventajas:

- Cabina Convencional (*Conventional Cab o Day Cab*):
  - Función: Diseñada principalmente para la conducción en carretera y distancias cortas. Tiene un espacio interior bastante amplio pero generalmente solo cuenta con asientos para el conductor y, a veces, un pasajero.
  - Ventajas: Es más liviana y aerodinámica, lo que puede resultar en un mejor consumo de combustible.
  - Desventajas: Puede carecer de espacio para el descanso del conductor durante viajes largos. Y tiene una visibilidad más limitada debido al largo del capó.
- Cabina Dormitorio (*Sleeper Cab*). Para cabina convencional o sobre el motor.

- **Función:** Diseñada para permitir al conductor descansar y dormir durante viajes largos. Tiene una sección adicional detrás de los asientos del conductor con espacio para una o más literas.
  - **Ventajas:** Permite a los conductores realizar viajes largos sin tener que detenerse en hoteles o estaciones de servicio. Proporciona mayor comodidad y privacidad para el conductor.
  - **Desventajas:** Aumenta el peso y la longitud total del camión, lo que puede afectar la maniobrabilidad y el consumo de combustible.
- **Cabina sobre motor (*Cab Over*):**
- **Función:** A menudo se utiliza en camiones destinados al transporte de pasajeros y también de carga, que se mueven principalmente en zonas urbanas donde es difícil maniobrar y donde se requiere mayor visibilidad.
  - **Ventajas:** Proporciona mayor visibilidad y facilidad de conducción. Permite moverse por zonas más estrechas. Ideal para el transporte de pasajeros.
  - **Desventajas:** Puede aumentar la resistencia aerodinámica y, por lo tanto, el consumo de combustible. Limita la accesibilidad a ciertos lugares debido a su altura total.

Estas son solo algunas de las configuraciones de cabinas de camión disponibles en el mercado y cada una de ellas existe en versiones con la cabina debajo o delante del conductor. La elección del tipo de cabina depende de factores como el tipo de carga, la duración de los viajes, el presupuesto y las preferencias del conductor.

En la Figura 2.8 se pueden observar ejemplos de cabinas de camiones pesados. En 2.8a con cabina convencional, 2.8b con cabina dormitorio y 2.8c con cabina de techo alto.

## 2.4. Tipos de camiones de carga

Pensar en transporte es, inevitablemente, pensar en camiones. Estos vehículos constituyen la columna vertebral del transporte terrestre, omnipresente en nuestras vidas y carreteras. Sin embargo, el transporte terrestre abarca una amplia diversidad de formas y, en consecuencia, de vehículos. La elección

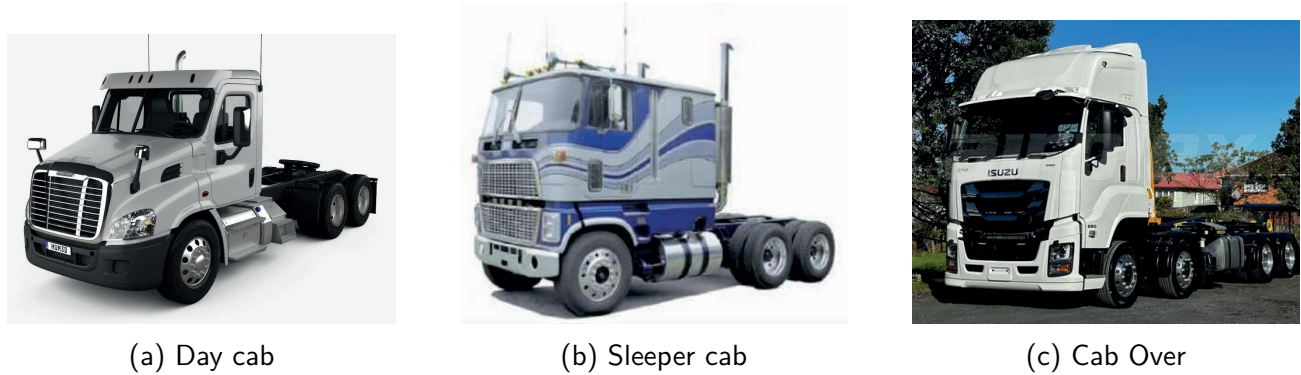


Figura 2.8: Tipos de cabinas

del vehículo adecuado depende de factores como el tipo de mercancía a transportar, las dimensiones y la estructura del vehículo. Los camiones, en particular, se clasifican no solo por su categoría, sino también por su tipo. Esta clasificación puede basarse en la configuración de la cabina o en el diseño de la caja, por lo que atendiendo su estructura es posible definir por tipo cada camión, aunque es importante señalar que el nombre utilizado para referirse a un mismo tipo de camión puede variar según el país. En esta sección, se presentarán algunos ejemplos ilustrativos.

### 2.4.1. Tráilers

Los tráilers representan un tipo distintivo de vehículo articulado utilizado en el transporte de mercancías. Se componen de dos partes fundamentales: el tractocamión y el semirremolque. El tractocamión, también conocido como cabina, es la sección frontal del vehículo que no está destinada para el transporte de carga, sino para remolcar el semirremolque. Por otro lado, el semirremolque es la sección trasera del tráiler y es la parte encargada de transportar los materiales o mercancías. Es importante destacar que, en países de habla hispana como México, el término “tráiler” se utiliza específicamente para referirse a este tipo de vehículo articulado, mientras que en otros lugares puede tener diferentes nombres. Este tipo de camión es icónico en el transporte terrestre y es frecuentemente asociado con el movimiento de grandes volúmenes de carga en distancias largas.

La combinación del tractocamión y el semirremolque proporciona una gran capacidad de transporte, permitiendo el traslado eficiente de una amplia variedad de mercancías. Esta configuración articulada ofrece una mayor flexibilidad y eficiencia en comparación con otros tipos de vehículos de carga, lo que

lo convierte en una opción preferida para la logística de transporte a larga distancia y el movimiento de cargas pesadas y voluminosas.

### **2.4.2. Camión de redilas**

Un camión de redilas es un tipo de camión que se caracteriza por tener una estructura abierta en su plataforma de carga, la cual está rodeada por barandas o paredes laterales que pueden ser removibles o abatibles. Estas barandas están diseñadas para contener la carga y proporcionar cierta protección, pero permiten una fácil carga y descarga desde los lados del camión. Figura 2.9a

Las redilas, también conocidas como barandas, pueden estar hechas de diversos materiales, como madera, metal o incluso plástico resistente. La altura de las barandas puede variar según el modelo y el uso previsto del camión. Los camiones de redilas son muy versátiles y se utilizan en una variedad de aplicaciones de transporte de carga, especialmente cuando se necesita transportar artículos grandes, voluminosos o que requieren carga y descarga frecuente desde los lados del vehículo. Por ejemplo, son comunes en la agricultura y el transporte de materiales.

### **2.4.3. Camión rabón**

El término “camión rabón” se emplea comúnmente en varios países de habla hispana, principalmente en América Latina, para describir un tipo específico de camión de carga. Este tipo de vehículo se caracteriza por su longitud considerable y su configuración 4X2, con una capacidad de carga que normalmente oscila entre las 6 y las 10 toneladas. La denominación de “rabón” se atribuye al hecho de que el eje trasero no se sitúa completamente alineado en la parte posterior de la caja, lo que resulta en un voladizo notable. Figura 2.9b.

Los camiones rabones son en sí, camiones rígidos, pero con la diferencia que se mencionó anteriormente. Estos camiones tienen una amplia aplicación en diversas industrias para el transporte de carga, sobre todo en áreas urbanas y rurales donde se requiere una alta maniobrabilidad y acceso a espacios reducidos. Es común su empleo en actividades de mudanza.

#### **2.4.4. Camiones rígidos**

Son vehículos diseñados con una configuración donde la cabina del conductor y la sección de carga están integradas como una sola unidad, sin posibilidad de separación. Este tipo de camiones son habitualmente más compactos en comparación con los camiones articulados o tractocamiones, lo que los hace ideales para operaciones de transporte en entornos urbanos y para la distribución de paquetería en áreas metropolitanas. Debido a su estructura compacta, los camiones rígidos son altamente maniobrables y pueden acceder a espacios más estrechos y áreas urbanas congestionadas con mayor facilidad que otros tipos de vehículos de carga. Además, su diseño integrado ofrece una mayor seguridad y estabilidad durante el transporte de la carga.

Estos camiones son ampliamente utilizados en actividades de reparto de mercancías, transporte de carga en distancias cortas o medianas, recolección de residuos, distribución urbana de productos, y servicios de mensajería y paquetería. Su versatilidad y adaptabilidad los convierten en una opción valiosa para satisfacer las demandas logísticas en entornos urbanos y suburbanos.

#### **2.4.5. Camiones articulados**

Los camiones articulados, en contraste con los camiones rígidos, se componen de dos partes distintas que se unen mediante una articulación, lo que les confiere su característica principal y su nombre. Esta articulación permite que el vehículo pueda doblarse o girar en la zona de conexión entre las dos partes, facilitando su maniobrabilidad en comparación con los camiones rígidos. Este tipo de camiones consta de una cabina de conductor y un remolque separados que están unidos mediante una junta articulada, lo que proporciona flexibilidad en el movimiento del vehículo al cambiar de dirección o maniobrar en espacios reducidos. La articulación permite que el remolque siga la trayectoria del vehículo principal, lo que resulta en una mayor capacidad de maniobra y facilita la conducción en áreas urbanas congestionadas o en espacios de carga y descarga estrechos. Figura 2.9c.

Los camiones articulados son ampliamente utilizados en el transporte de carga de larga distancia, distribución de mercancías en áreas urbanas y suburbanas, así como en operaciones de recolección de residuos y reciclaje. Su capacidad para transportar cargas voluminosas y pesadas, combinada con su capacidad de maniobra, los convierte en una opción eficiente y versátil para una variedad de

aplicaciones logísticas.



(a) Redilas



(b) Rabón



(c) Articulado

Figura 2.9: Tipos de camiones

### 2.4.6. Tren de carretera

El concepto de tren de carretera se refiere a la unión de un camión con uno o más semirremolques, aunque la presencia de múltiples remolques es más común en regiones donde las distancias de transporte son considerablemente largas, como en Australia. En el caso particular de México sólo está permitido circular con camiones de no más de 31.5 metros de largo y 80 toneladas de peso (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2017). No obstante, uno de los principales desafíos que enfrentan estos vehículos es su capacidad para circular por carreteras diseñadas para vehículos más convencionales, ya que su longitud puede plantear dificultades en ciertas vías de tránsito. Por lo que necesitan un permiso especial. Figura 2.11a.

### 2.4.7. Camión cisterna

Un camión cisterna es un tipo de vehículo de transporte de carga diseñado específicamente para transportar líquidos, gases u otros productos a granel. Estos vehículos están equipados con un contenedor cilíndrico o en forma de tanque, conocido como cisterna, que está sellado para garantizar la seguridad y evitar derrames durante el transporte. Estos camiones se utilizan para transportar una variedad de productos líquidos, gaseosos y químicos, como combustibles, productos químicos industriales, agua, productos lácteos, alimentos líquidos, productos farmacéuticos, entre otros. El camión

cisterna también puede entrar en la categoría de camión rígido o de camión articulado. Figura 2.11b. Algo fundamental a entender de este tipo de camiones es que debido a la naturaleza de los productos que transportan, los camiones cisterna están sujetos a regulaciones estrictas y normativas de seguridad. En muchos casos, los productos transportados pueden ser peligrosos o corrosivos, por lo que se aplican normativas específicas para garantizar su manipulación, almacenamiento y transporte seguro.



Figura 2.10: Interior de un camión cisterna (López, 2013)

Una de las principales dificultades en el diseño y cálculo de los camiones cisterna radica en la distribución del peso. El líquido contenido en el tanque puede tener un peso considerable y su distribución debe ser cuidadosamente calculada para mantener la estabilidad del vehículo durante la conducción. Los movimientos bruscos del vehículo, como frenadas repentinas o giros bruscos, pueden provocar el *sloshing* (López, 2013), que es el movimiento no deseado del líquido dentro del tanque. Esto puede afectar la estabilidad del camión y, en casos extremos, provocar vuelcos. Por lo tanto, se deben aplicar técnicas de diseño y cálculo específicas para minimizar este efecto, como la instalación de compartimentos internos (paneles rompe olas) o la modificación de la forma del tanque. En la figura 2.10 se puede apreciar el interior del área del depósito de agua de un camión cisterna, en el que se observan unas placas metálicas circulares, los rompeolas.

### 2.4.8. Camión portacoches

Un camión portacoches, también conocido como “madrina”, es un tipo de vehículo de transporte diseñado específicamente para transportar automóviles de un lugar a otro. Estos camiones son especialmente importantes en la industria automotriz, ya que permiten el movimiento eficiente de vehículos nuevos desde las fábricas hasta los concesionarios, así como el traslado de vehículos usados entre diferentes ubicaciones. Están diseñados con plataformas especiales que pueden transportar varios automóviles a la vez. Estas plataformas están equipadas con rampas o elevadores que permiten cargar y descargar los vehículos de manera rápida y segura. Figura 2.11c. Los camiones “madrina” desempeñan un papel fundamental en la logística de la industria automotriz al permitir el transporte eficiente de grandes cantidades de vehículos. Facilitan la distribución de automóviles nuevos desde las fábricas hasta los concesionarios, así como el movimiento de vehículos usados entre diferentes puntos de venta o entre empresas de transporte y almacenamiento.



(a) Megacamión



(b) Camión cisterna



(c) Portacoches (madrina)

Figura 2.11: Tipos de camiones

Lo anterior solo representa una muestra de los camiones de transporte de carga más habituales, pero existe una amplia variedad de vehículos con características especiales que los distinguen, como los camiones de bomberos, frigoríficos o las ambulancias. En general, todos estos vehículos pueden clasificarse en uno o varios tipos, comparten características y funcionamiento similares a los de los camiones de carga estándar. Es importante tener un conocimiento básico sobre los nombres comunes de muchos de estos vehículos pesados y su función principal, recordando que los nombres utilizados pueden variar según la región o el país.

### 2.4.9. Furgoneta

Una furgoneta es un tipo de vehículo de carga ligero diseñado principalmente para transportar mercancías o carga, caracterizada por tener una carrocería cerrada que proporciona un espacio de carga protegido y seguro. Estos vehículos suelen tener capacidad para transportar carga en la parte trasera y pueden tener diversas configuraciones interiores, desde modelos con asientos solo para el conductor y un pasajero hasta modelos con múltiples filas de asientos para pasajeros. Las furgonetas se utilizan ampliamente en una variedad de industrias para propósitos comerciales, como entregas, transporte de mercancías y servicios de mensajería, así como para usos personales, como transporte de pasajeros y camperización para viajes y recreación. Son apreciadas por su maniobrabilidad y versatilidad, adaptándose bien a entornos urbanos y espacios reducidos. Figura 2.12.



Figura 2.12: Ejemplo de furgoneta

## 2.5. Tipos de camiones de pasajeros

Esta sección se enfocará en proporcionar una visión general de los vehículos pesados utilizados para el transporte de pasajeros, así como en destacar los distintos tipos de vehículos terrestres empleados con este fin en México. Un vehículo de transporte público, conocido bajo diversos nombres (dependiendo del país) como autobús, bus, camión, colectivo, flota, bondi, guagua, micro, villavesa u ómnibus, constituye un medio de transporte diseñado específicamente para trasladar un considerable número de personas a lo largo de rutas urbanas e interurbanas. Su función principal radica en satisfacer las necesidades de movilidad de la población, ofreciendo un servicio eficiente y accesible en términos de desplazamiento (Colaboradores de los proyectos Wikimedia, 2024). Estos vehículos, que pueden acomodar desde 10 hasta 120 pasajeros según sus características, son piezas fundamentales en el

sistema de transporte público, proporcionando una opción de movilidad segura y confiable para los ciudadanos. Además, en el contexto de sistemas de autobús de tránsito rápido, la capacidad puede aumentar significativamente, alcanzando entre 160 y 240 pasajeros, lo que demuestra su versatilidad y capacidad para satisfacer la demanda de transporte en áreas urbanas densamente pobladas.

### 2.5.1. Ómnibus y autobús

Los términos “ómnibus” y “autobús” se utilizan a menudo indistintamente para referirse a vehículos de transporte público que transportan pasajeros en rutas regulares. Sin embargo, hay ciertas diferencias históricas y geográficas en el uso de estos términos, normalmente se utiliza el término Omnibus para los camiones que son un poco mas grandes que los Autobuses y que no son interurbanos, esto quiere decir que no circulan entre calles, sino de una ciudad a otra. Aunque en realidad son muy parecidos, aquí se presentan algunas que podríamos considerar diferencias:

#### **Autobús:**

- Origen: La palabra “autobús” proviene del término “omnibus” pero ha evolucionado para referirse específicamente a los vehículos de transporte público con un diseño estándar que se utilizan para el transporte de pasajeros en rutas regulares.
- Uso: El término “autobús” es más común en países de habla inglesa y se utiliza ampliamente en América del Norte, el Reino Unido y otras partes del mundo donde el inglés es el idioma principal.
- Diseño y Estructura: Los autobuses pueden variar en tamaño y diseño, pero generalmente tienen una estructura estándar con un solo piso y una capacidad de pasajeros que puede variar según el modelo y la configuración. Figura 2.13a.

#### **Ómnibus:**

- Origen: La palabra “ómnibus” tiene su origen en el latín y se traduce como “para todos”. Históricamente, se usaba para referirse a los primeros vehículos de transporte público que operaban en rutas regulares en áreas urbanas.

- **Uso:** En algunas partes del mundo, como América Latina y algunas regiones de Europa, el término “ómnibus” sigue siendo comúnmente utilizado para referirse a los vehículos de transporte público, especialmente en contextos más formales o legales.
- **Aplicación:** Aunque menos común que el término “autobús” en algunos lugares, “ómnibus” sigue siendo un término ampliamente reconocido y utilizado en muchos países de habla hispana y en algunas partes de Europa 2.13b.

Aunque “autobús” y “ómnibus” se refieren a vehículos de transporte público similares que transportan pasajeros en rutas regulares, la diferencia principal radica en su uso geográfico y en su origen histórico. Mientras que “autobús” es más común en países de habla inglesa, “ómnibus” sigue siendo utilizado en algunas partes del mundo, especialmente en países de habla hispana y en Europa.

### 2.5.2. Microbús

El término “microbús” se refiere a un tipo de vehículo de transporte público que generalmente es más pequeño que un autobús estándar y se utiliza para transportar pasajeros en rutas urbanas, suburbanas o interurbanas. Los microbuses, tienen una sola planta y disposición de asientos similar a los autobuses estándar, presentan una variedad de diseños y estructuras, pudiendo tener puertas en la parte delantera o trasera según el modelo. Se usan principalmente en áreas urbanas y suburbanas para rutas más cortas o en lugares donde los autobuses regulares son imprácticos, siendo más flexibles y ágiles en calles estrechas y congestionadas. Además, existen diversos modelos adaptados para diferentes usos, desde servicios públicos hasta transporte escolar o turístico. Es importante destacar que en diferentes partes del mundo se les conoce con distintos nombres de forma coloquial. Por ejemplo, en México, durante muchos años, especialmente en los años 60, se les denominó “peseros” debido al costo del pasaje de un peso. A pesar del incremento de las tarifas con el tiempo, este término persistió en el uso común. Figura 2.13c



(a) Autobus



(b) Omnibús (autobús)



(c) Microbús (pesero)

Figura 2.13: Tipos de camiones

### 2.5.3. Combi o furgoneta

Las combis son un tipo de vehículo de transporte público que se encuentra comúnmente en muchas partes del mundo, especialmente en áreas urbanas y suburbanas. Estos vehículos son conocidos por su diseño compacto y capacidad para transportar un número considerable de pasajeros en un espacio relativamente pequeño. Por lo general, tienen una carrocería de tamaño mediano a grande, con una configuración que permite acomodar a múltiples pasajeros en bancos ubicados a lo largo de los laterales del vehículo. Las combis pueden ser operadas por empresas de transporte público o por operadores privados y ofrecen una alternativa económica y conveniente para desplazarse en áreas donde el transporte público es limitado o insuficiente. A menudo se utilizan para viajes cortos dentro de la ciudad o para rutas suburbanas, proporcionando un servicio vital para comunidades que no tienen acceso fácil a otros medios de transporte. Las combis vienen en una variedad de tamaños y configuraciones, y pueden adaptarse para satisfacer las necesidades específicas de diferentes áreas y usuarios. Aunque son populares por su eficiencia en el transporte de pasajeros, también pueden presentar desafíos en términos de seguridad y comodidad, especialmente cuando están sobrecargadas o con un mantenimiento deficiente. Figura 2.14.



Figura 2.14: Ejemplo de combi

## 2.6. Tipos de caminos

El ET1 y ET2 son tipos de caminos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017 para la circulación de vehículos de carga. Estos tipos de caminos se definen de la siguiente manera:

- Caminos Tipo ET (Estructurales Tipo 1 y 2): Son caminos con estructuras de pavimento diseñadas para soportar cargas de vehículos de carga pesada y de alto tonelaje. Estos caminos tienen una capacidad de carga mayor que los caminos tipo A, B, C y D, y por lo tanto, permiten el tránsito de vehículos más pesados. Los caminos tipo ET se dividen en dos subtipos: ET1 y ET2, según su capacidad de carga.
- Caminos Tipo A: Son caminos con estructuras de pavimento diseñadas para soportar cargas de vehículos de carga ligera y mediana. Estos caminos tienen una capacidad de carga menor que los caminos tipo ET, y por lo tanto, no permiten el tránsito de vehículos tan pesados. Tienen un “ancho de corona” (se explica a detalle mas adelante) de 12.00 m o más, y están diseñados para soportar tránsito de vehículos de carga con peso bruto vehicular máximo de hasta 80,000 kg.

En cuanto al ancho de corona, se refiere a la sección transversal de la superficie de rodamiento de un camino, es decir, la parte de la carretera que está destinada al tránsito de vehículos. El ancho de corona se mide desde el borde exterior de la superficie de rodamiento hasta el borde exterior de la superficie de rodamiento del carril opuesto. La norma establece diferentes anchos de corona mínimos para cada tipo de camino, según su clasificación. Por ejemplo, los caminos tipo A deben tener un ancho de corona mínimo de 12.00 m, mientras que los caminos tipo D deben tener un ancho de corona mínimo de menos de 7.00 m.

Es importante tener en cuenta que la circulación de vehículos de carga en los caminos tipo ET está sujeta a regulaciones específicas en cuanto a pesos y dimensiones máximas autorizadas, y que en algunos casos se requiere de autorización especial para circular por estos caminos.

Los términos B2 y B4, C y D se refieren a los tipos de caminos también establecidos en la NOM-012-SCT-2-2017 para la circulación de vehículos de carga definidos de la siguiente manera:

- Caminos Tipo B: Son caminos con estructuras de pavimento diseñadas para soportar cargas de vehículos de carga mediana. Estos caminos tienen una capacidad de carga mayor que los caminos tipo C y D, y por lo tanto, permiten el tránsito de vehículos más pesados. Los caminos tipo B se dividen en dos subtipos: B2 y B4, según su capacidad de carga. Tienen un ancho de corona de 9.00 m o más, y están diseñados para soportar tránsito de vehículos de carga con peso bruto vehicular máximo de hasta 63,500 kg.
- Caminos Tipo C: Son caminos con estructuras de pavimento diseñadas para soportar cargas de vehículos de carga ligera. Estos caminos tienen una capacidad de carga menor que los caminos tipo B y D, y por lo tanto, no permiten el tránsito de vehículos tan pesados. Tienen un ancho de corona de 7.00 m o más, y están diseñados para soportar tránsito de vehículos de carga con peso bruto vehicular máximo de hasta 46,000 kg.
- Caminos Tipo D: Son caminos con estructuras de pavimento diseñadas para soportar cargas de vehículos de carga muy ligera. Estos caminos tienen una capacidad de carga menor que los caminos tipo B y C, y por lo tanto, no permiten el tránsito de vehículos tan pesados. Tienen un ancho de corona de menos de 7.00 m, y están diseñados para soportar tránsito de vehículos de carga con peso bruto vehicular máximo de hasta 31,500 kg.

La circulación de vehículos de carga en los caminos tipo B, C y D está sujeta a regulaciones específicas en cuanto a pesos y dimensiones máximas autorizadas, y que en algunos casos se requiere de autorización especial para circular por estos caminos.

## 2.7. Peso y largo de vehículos

Dentro de la misma norma (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2017) se establece el peso máximo permitido para que puedan circular los vehículos por las carreteras de México. Ese peso o mejor dicho la Masa máxima autorizada (MMA) (definido en la Tabla 2.1) debe incluir el máximo peso remolcable, y sólo podrá remolcar si dicho vehículo tiene las características admisibles para hacerlo. Otro factor importante es el tipo de freno del remolque.

**Para remolques con frenos continuos:**

- Si el vehículo es categoría M; podrá llevar 1.5 veces su MMA sin exceder los 3500 kg.
- Si es categoría N:
  - N1: 1.5 veces su MMA sin exceder los 3500 kg.
  - N2 y N3: 1.5 veces la MMA.

**Para remolques sin freno:** La mitad de la tara del tractocamión, más 75 kg, sin exceder 750 kg.

**Clasificación de pesos** Tomando en cuenta la Tabla 1.3, aquí se muestra la clasificación de vehículos ligeros, medios y pesados según su peso.

Los camiones se clasifican por pesos de la siguiente manera:

- **Ligeros:** De MMA hasta 3,5 toneladas.
- **Medios:** De MMA hasta 12 toneladas.
- **Pesados** De MMA superior a 12 toneladas.

Es importante recalcar que esto será independiente de la capacidad de arrastre.

- Para vehículos tipo turismo se considera la  $MMA = \text{Peso sin Q.útil (Tara)} + \text{Carga útil (Q.útil)}(\text{pasajeros más equipajes})$
- Para camiones se considera la  $MMA = \text{Peso chasis cabina (PP)} + \text{Peso del conductor más el acompañante (P)} + \text{Peso útil, caja + carga (PU)}$ .

A continuación se muestran las Tablas 2.10 y 2.11 con los pesos máximos para camino y por número de ejes que establece la norma (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2017).

Tabla 2.10: Pesos máximos autorizados por tipo de eje y camino en toneladas

Configuración de ejes	Vehículo	Tipo de camino			
		ET1, ET2, A4 y A2	B4 y B2	C	D
Sencillo, dos llantas	B	6.50	6	5.50	5
Motriz, sencillo, dos llantas	B	12.50	10.50	9	8
Motriz, tandem, seis llantas	B	17.50	13	11.50	11
Motriz, tandem, ocho llantas	B	21	17	14.50	13.50

Aquí sólo se muestra lo que se consideró indispensable para los temas que trata este libro, si se requieren los detalles completos revisar la NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.

### 2.7.1. Largo máximo

La distancia total de los vehículos pesados también en su elemento que se debe considerar para poder circular en las carreteras, debido a que el largo afecta directamente, la frenada y principalmente el radio de giro. Normalmente la distancia máxima entre el Perno rey y la quinta rueda no podrá ser superior a 12 metros. La distancia entre el perno rey, y un punto cualquiera de la parte delantera del semirremolque horizontalmente no debe ser superior a los 2.4 metros. Todos los vehículos para transporte con un tren de hasta 20 metros requerirá autorización especial para circular.

- Autobuses: 15 metros
- Autobuses articulados: 18 metros
- Trenes de carretera: 18.75 metros

Tabla 2.11: Peso bruto vehicular máximo autorizado por clase de vehículo y camino

Configuración vehicular	Número de ejes	Número de llantas	Peso bruto vehicular en Toneladas			
			ET y A	B	C	D
C2	2	6	19	16.5	14.5	13
C3	3	8	24	19	17	16
C3	3	10	27.5	23	20	18.5
C2-R2	4	14	37.5	35.5	NA	NA
C3-R2	5	18	44.5	42	NA	R
C3-R3	6	22	511.5	47.5	NA	NA
C2-R3	5	18	44.5	41	NA	NA
T2-S1	3	10	30	26	22.5	NA
T2-S2	4	14	38	31.5	28	NA
T3-S2	5	18	46.5	38	33.5	NA
T3-S3	6	22	54	45.5	40	NA
T2-S3	5	18	45.5	39	34.5	NA
T3-S1	4	14	38.5	32.5	28	NA
T2-S1-R2	5	18	47.5	NA	NA	NA
T2-S1-R3	6	22	54.5	NA	NA	NA
T2-S2-R2	6	22	54.5	NA	NA	NA
T3-S1-R2	6	22	54.5	NA	NA	NA
T3-S1-R3	7	26	60.5	NA	NA	NA
T3-S2-R2	7	26	60.5	NA	NA	NA
T3-S2-R4	9	34	66.5	NA	NA	NA
T3-S2-R3	8	30	63.5	NA	NA	NA
T3-S3-S2	8	30	60	NA	NA	NA
T2-S2-S2	6	22	51,5	NA	NA	NA
T3-S2-S2	7	26	58.5	NA	NA	NA

Las siguientes Tablas 2.12 y 2.13 muestran los largos máximo autorizados por clases de vehículos y caminos para México basados en (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2017).

Tabla 2.12: Largo máximo autorizado por clase de autobuses y camino

Configuración vehicular	Número de ejes	Número de llantas	Largo total en metros			
			ET Y A	B	C	D
B2	2	6	14	14	14	12.5
B3	3	8	14	14	14	12.5
B3	3	10	14	14	14	12.5
B4	4	10	14	14	14	12.5

Tabla 2.13: Largo máximo autorizado por clase de camiones, tractocamiones y caminos (metros)

Configuración vehicular	Número de ejes	Número de llantas	Largo total			
			ET y A	B	C	D
C2	2	6	14	14	14	12.5
C3	3	8	14	14	14	12.5
C3	3	10	14	14	14	12.5
C2-R2	4	14	31	28.5	NA	NA
C3-R2	5	18	31	28.5	NA	NA
C3-R3	6	22	31	28.5	NA	NA
C2-R3	5	18	31	28.5	NA	NA
T2-S1	3	10	23	20.8	18.5	NA
T2-S2	4	14	23	20.8	18.5	NA
T2-S3	5	18	23	20	18	NA
T3-S1	4	14	23	20	18	NA
T3-S2	5	18	23	20.8	18.5	NA
T3-S3	6	22	23	20.8	18.5	NA
T2-S1-R2	5	18	31	NA	NA	NA
T2-S1-R3	6	22	31	NA	NA	NA
T2-S2-R2	6	22	31	NA	NA	NA
T3-S1-R2	6	22	31	NA	NA	NA
T3-S1-R3	7	22	31	NA	NA	NA
T3-S2-R2	7	26	31	NA	NA	NA
T3-S2-R4	9	34	31	NA	NA	NA
T3-S2-R3	8	30	31	NA	NA	NA
T3-S3-S2	8	30	25	NA	NA	NA
T2-S2-S2	6	22	31	NA	NA	NA
T3-S2-S2	7	26	31	NA	NA	NA

### 2.7.2. Radio de giro

El radio de giro es la distancia desde el centro de la circunferencia que describe la trayectoria de la rueda delantera externa del vehículo durante un giro. Este radio, junto con la distancia entre ejes y la anchura de vía del vehículo, define las trayectorias que seguirán las ruedas durante la maniobra de giro. También se debe comprender que este radio de giro comprende la distancia mínima necesaria para que el vehículo pueda ejecutar una maniobra completa, generalmente un giro de 90 o 180 grados, sin colisionar con objetos circundantes. Esta medida reviste gran importancia al evaluar la capacidad de maniobra de un vehículo, especialmente en entornos de espacio reducido o al realizar

giros en esquinas cerradas (IMT - Instituto Mexicano del Transporte, 2013).

Todos los vehículos deben tener la capacidad de inscribirse en una corona circular con un radio exterior de 12.50 metros y un radio interior de 5.30 metros. Es crucial tener en cuenta que los radios de giro varían según el tipo de vehículo. El radio de giro de un camión difiere del de un tractocamión, ya que esta medida está directamente relacionada con la configuración de sus ejes. Por lo general, los camiones tractores tienden a tener radios de giro más ajustados en comparación con los tráilers que arrastran. En términos generales, los tráilers, especialmente aquellos con múltiples ejes y longitud considerable, pueden tener radios de giro más amplios debido a su configuración y conexión articulada con el camión tractor. Esto implica que, en algunas maniobras, un camión y su tráiler pueden requerir espacio adicional para completar un giro de manera segura. En la figura 2.15 se puede ver un ejemplo de la trayectoria del radio de giro de un autobús simulado con las especificaciones parecidas en el *software* AutoTURN (*software* especializado para cálculo y generación de rutas de barrido).

Existe un conjunto de términos esenciales para entender los diagramas y los fundamentos del radio de giro, entre ellos tenemos:

- *Offtracking (despiste)*: Durante un giro, las ruedas delanteras y traseras de un vehículo siguen trayectorias distintas debido a su posición y ángulo de giro. Este fenómeno, conocido como diferencia de trayectoria, es más pronunciado en vehículos de carga grandes, donde la mayor distancia entre ejes amplifica la discrepancia entre las rutas seguidas por las ruedas delanteras y traseras. La diferencia de trayectoria es un factor crucial en el diseño geométrico de carreteras, ya que se utiliza para calcular el ancho de barrido, asegurando que los vehículos grandes puedan maniobrar sin salirse de los límites del carril.
  - *Despiste parcialmente desarrollado*: El despiste parcialmente desarrollado ocurre cuando la distancia de *offtracking*, es decir, la separación lateral entre las ruedas delanteras y traseras de un vehículo durante un giro, aumenta progresivamente pero aún no alcanza su valor máximo.
  - *Full offtracking*: El despiste totalmente desarrollado, o máximo, ocurre cuando la distancia de despiste alcanza su valor máximo y deja de aumentar a medida que el vehículo mantiene una curva de radio constante. Este punto es crítico en la evaluación de la maniobrabilidad

de vehículos largos y pesados, y se utiliza en el diseño geométrico de carreteras para asegurar que las vías puedan acomodar las trayectorias completas de estos vehículos sin riesgo de colisión o salida del carril.

- Swept path width (*ancho de barrido*): Es la porción del camino que recorre un vehículo de carga al tomar una curva. Se calcula como la suma del despiste y el ancho del vehículo. Este concepto es fundamental en el diseño geométrico de carreteras, ya que determina la necesidad de ampliación en las curvas y el diseño de la orilla interna de la calzada en intersecciones, asegurando que los vehículos puedan maniobrar de manera segura sin invadir otros carriles ni salirse de la vía. (IMT - Instituto Mexicano del Transporte, 2013)

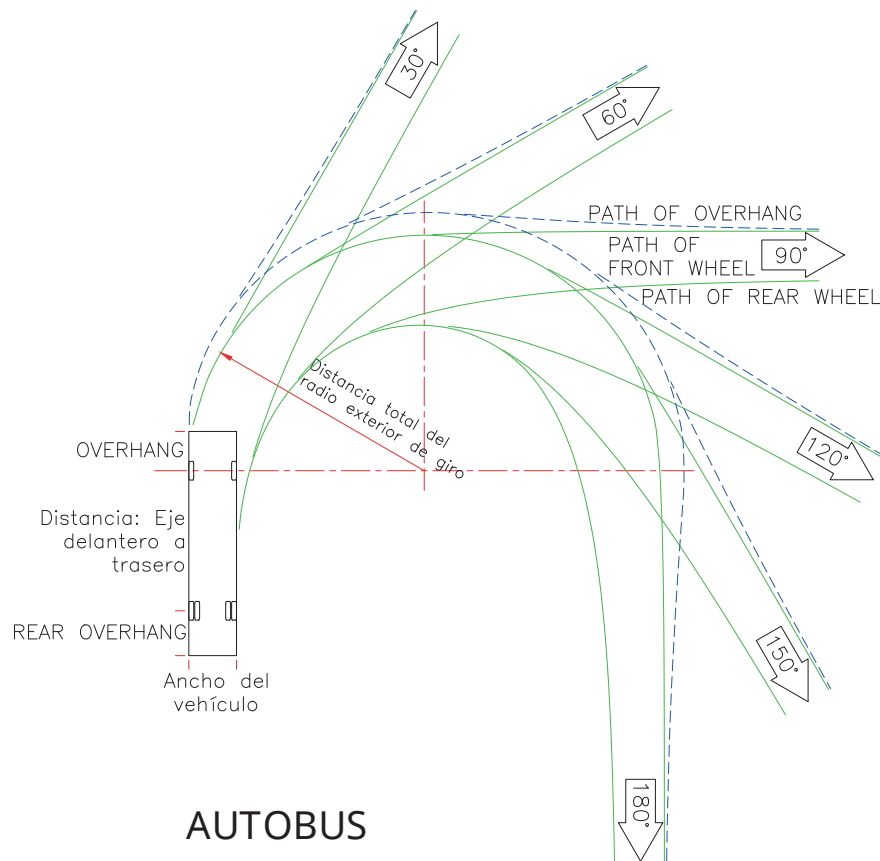


Figura 2.15: Radio de giro de autobús

La determinación del radio de giro de un camión se realiza mediante pruebas de manejo específicas o a través de cálculos basados en la geometría del vehículo. Los fabricantes de vehículos proporcionan esta información en las especificaciones técnicas de sus modelos. Conocer y comprender el radio de

giro es esencial para garantizar una conducción segura y eficiente, especialmente en situaciones que demandan maniobras precisas (Wong, 2022).

El cálculo del radio de giro depende de varios factores, incluyendo:

- **Distancia entre Ejes:** La distancia entre los ejes delantero y trasero del camión influye en el radio de giro. Un mayor espacio entre ejes tiende a aumentar el radio de giro.
- **Ángulo de Dirección:** La capacidad de giro de las ruedas delanteras, expresada en grados, afecta directamente al radio de giro. Un mayor ángulo de dirección suele reducir el radio de giro.
- **Geometría de la Suspensión:** La configuración de la suspensión delantera y trasera también influye en el radio de giro del camión.

Conocer el radio de giro es crucial por varias razones:

- **Maniobrabilidad:** Permite al conductor anticipar la capacidad de giro del camión y evitar problemas al navegar en áreas con espacio limitado, como estacionamientos, callejones o zonas urbanas congestionadas.
- **Seguridad:** Un radio de giro adecuado es esencial para realizar giros seguros, minimizando el riesgo de colisiones con objetos, vehículos u otros obstáculos cercanos.
- **Eficiencia Operativa:** En entornos logísticos, el conocimiento del radio de giro es fundamental para planificar rutas y operaciones de carga y descarga.

### 2.7.2.1. Vehículo No Articulado

Para vehículos no articulados, como un camión rígido, el radio de giro puede calcularse utilizando la fórmula 2.1 (Gillespie, 2021):

$$R = \frac{L}{\sin(\theta)} \quad (2.1)$$

---

$R =$  es el radio de giro (metros)

Donde:  $L =$  es la distancia entre ejes (distancia entre el eje delantero y el eje trasero) (metros)

$\theta =$  es el ángulo de dirección máximo de las ruedas delanteras (grados)

---

### 2.7.2.2. Vehículo Articulado

Para vehículos articulados, como un camión con remolque o un tractocamión con semirremolque, el cálculo es más complejo debido a la articulación entre el tractor y el remolque. Figura 2.16. El radio de giro puede calcularse considerando tanto el tractor con la ecuación 2.2, como el remolque, ecuación 2.3. (Gillespie, 2021):

Radio de giro del tractor:

$$R_t = \frac{L_t}{\sin(\theta_t)} \quad (2.2)$$

Radio de giro del remolque:

$$R_r = \sqrt{(L_r + L_a)^2 + \left(R_t - \frac{L_r}{\tan(\theta_t)}\right)^2} \quad (2.3)$$

---

$R_t$  Radio de giro del tractor (metros)

$L_t$  Distancia entre ejes del tractor (metros)

Donde:  $\theta_t$  Ángulo de dirección máximo de las ruedas delanteras del tractor (grados)

$R_r$  Radio de giro del remolque (metros)

$L_r$  Longitud del remolque de la articulación al eje trasero del mismo (metros)

$L_a$  Distancia desde el eje delantero del tractor al punto de articulación (metros)

---

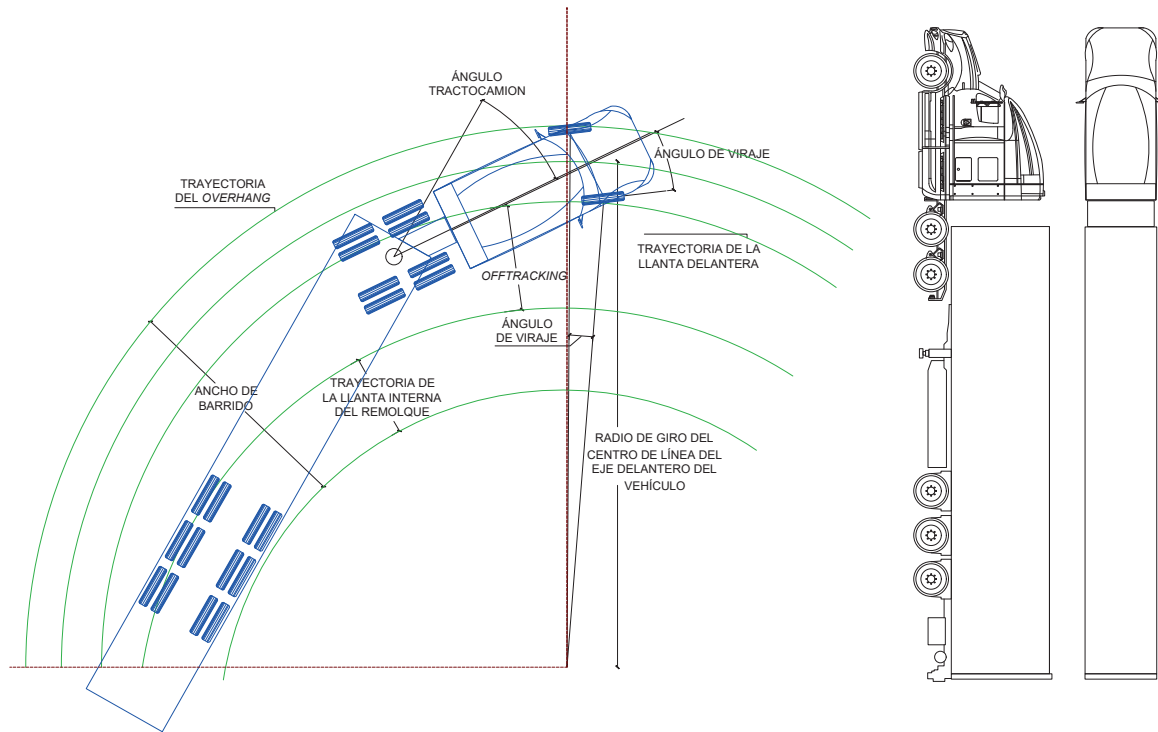


Figura 2.16: Radio de giro de tráiler

### Ejemplo

Supongamos que tenemos un camión rígido con una distancia entre ejes de 6 metros y un ángulo de dirección máximo de 30 grados. Para calcular el radio de giro:

#### Cálculo del Radio de Giro de un Camión Rígido

Donde:

$L = 6$ metros	Distancia entre ejes
$\theta = 30^\circ$ grados	Ángulo de dirección máximo

La fórmula para el radio de giro es:

$$R = \frac{L}{\sin(\theta)}$$

Sustituyendo los valores:

$$R = \frac{6}{\sin(30^\circ)} = \frac{6}{0.5} = 12 \text{ metros}$$

Para un camión articulado, supongamos que tenemos las siguientes medidas:

---


$$L_t = 4 \quad \text{metros}$$

$$\theta_t = 30^\circ \quad \text{grados}$$

$$L_r = 12 \quad \text{metros}$$

$$L_a = 1.5 \quad \text{metros}$$


---

### 2.7.2.3. Cálculo del Radio de Giro de un Vehículo Articulado

---


$$L_t = 4 \text{ metros} \quad \text{Distancia entre ejes del tracto}$$

$$\theta_t = 30^\circ \text{grados} \quad \text{Ángulo de dirección máximo del tractor}$$

$$L_r = 12 \text{ metros} \quad \text{Longitud del remolque}$$

$$L_a = 1.5 \text{ metros} \quad \text{Distancia del eje delantero al punto de articulación}$$


---

Radio de giro del tractor:

$$R_t = \frac{L_t}{\sin(\theta_t)}$$

$$R_t = \frac{4}{\sin(30^\circ)} = \frac{4}{0.5} = 8 \text{ metros}$$

Radio de giro del remolque:

$$R_r = \sqrt{(L_r + L_a)^2 + \left(R_t - \frac{L_r}{\tan(\theta_t)}\right)^2}$$

$$R_r = \sqrt{(12 + 1.5)^2 + \left(8 - \frac{12}{\tan(30^\circ)}\right)^2}$$

$$R_r = \sqrt{13.5^2 + (8 - 20.785)^2}$$

$$R_r = \sqrt{182.25 + 163.38} = \sqrt{345.63} \approx 18.59 \text{ metros}$$



# Capítulo 3

## Motores térmicos

El motor térmico es un tipo de máquina que convierte la energía térmica, generada por la combustión, en energía mecánica utilizada para realizar trabajo. Estos motores se basan en el principio de la expansión y contracción de un fluido, que puede ser aire, vapor de agua u otro gas, para generar movimiento. (Gaviria-Ríos et al., 2002)

Existen dos tipos principales de motores térmicos. Los motores de combustión interna y los motores de combustión externa. Ambos tipos de motores térmicos tienen sus propias ventajas y desventajas. Los motores de combustión interna son más compactos, ligeros y eficientes en términos de potencia a peso, lo que los hace ideales para aplicaciones de transporte. Por otro lado, los motores de combustión externa tienden a ser más eficientes en la conversión de calor en trabajo y pueden quemar una variedad más amplia de combustibles, pero son más voluminosos y menos adecuados para aplicaciones móviles. La elección entre estos dos tipos de motores depende de factores como la aplicación específica, los requisitos de potencia y eficiencia, y las consideraciones económicas y ambientales.

Dentro del tema, motores de combustión interna, se distinguen dos variantes adicionales: los motores a gasolina y los motores diésel. Es relevante destacar que la mayoría de los vehículos pesados, sino todos, se desempeñan con motores diésel debido a su rendimiento superior, tema que será abordado detalladamente en secciones posteriores. En este contexto, se procederá a discutir los motores a gasolina antes de adentrarse en el análisis de los motores diésel.

### 3.1. Motor de combustión externa

Estos motores operan mediante un proceso de combustión que ocurre fuera del propio motor. La combustión se produce en una caldera externa, generando vapor de agua que se dirige hacia un cilindro donde expande y empuja un pistón, similar a un motor de vapor. Los motores de combustión externa se han utilizado históricamente en aplicaciones como locomotoras de vapor, motores estacionarios y algunos tipos de motores marinos. Aunque han sido desplazados en gran medida por los motores de combustión interna en aplicaciones de transporte, todavía se utilizan en algunas aplicaciones especializadas donde se requiere una gran cantidad de energía, (Ragland & Bryden, 2011). Uno de los motores de combustión externa más conocidos es el motor de una locomotora la cual funciona convirtiendo la energía térmica del vapor de agua en energía mecánica para propulsar las ruedas. Esto ocurre en cuatro etapas, las cuales permiten convertir la energía térmica en mecánica.

Primero, el carbón o combustible sólido se quema en la caldera, generando vapor de alta presión. Este vapor se dirige hacia los cilindros de la locomotora, donde empuja los pistones. El movimiento de los pistones se transfiere a las bielas y las ruedas, provocando que la locomotora se desplace a lo largo de las vías. Después de realizar su trabajo, el vapor se libera al exterior, donde se condensa de nuevo en agua y puede ser reciclado. Este proceso se repite continuamente mientras la locomotora está en funcionamiento, proporcionando la fuerza necesaria para mover el tren. 3.1

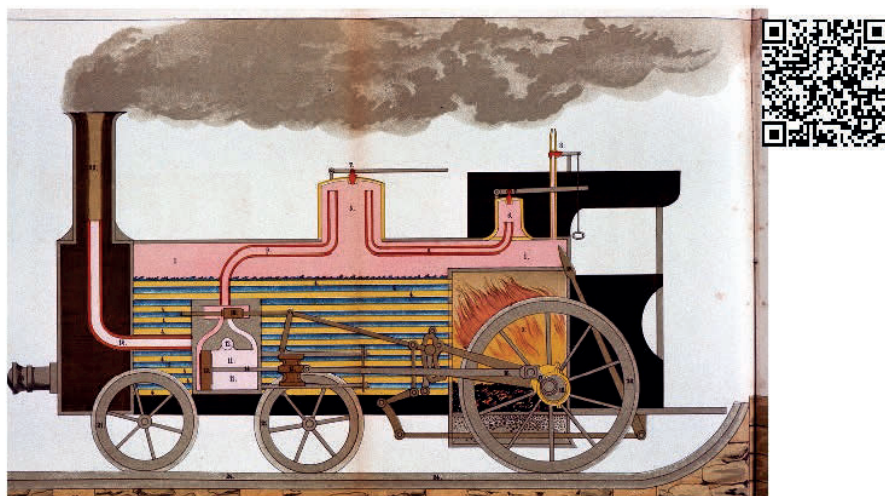


Figura 3.1: Vista de sección de locomotora a vapor de 1988 (MeisterDrucke, 2024)

### 3.1.1. Motor Stirling

El motor Stirling es un tipo de motor de combustión externa que opera mediante la compresión y expansión cíclica de un gas (como aire, hidrógeno o helio) en cámaras separadas, lo que genera energía mecánica. A diferencia de los motores de combustión interna, la fuente de calor en un motor Stirling está ubicada fuera del motor (Figura 3.2) y puede provenir de diversas fuentes, como combustibles fósiles, energía solar o energía nuclear.

El ciclo de un motor Stirling consta de cuatro fases: calentamiento isocórico (a volumen constante), expansión isoterma (a temperatura constante), enfriamiento isocórico y compresión isoterma. Esto permite una operación muy eficiente y silenciosa, con menos desgaste en los componentes mecánicos debido a la ausencia de explosiones internas.

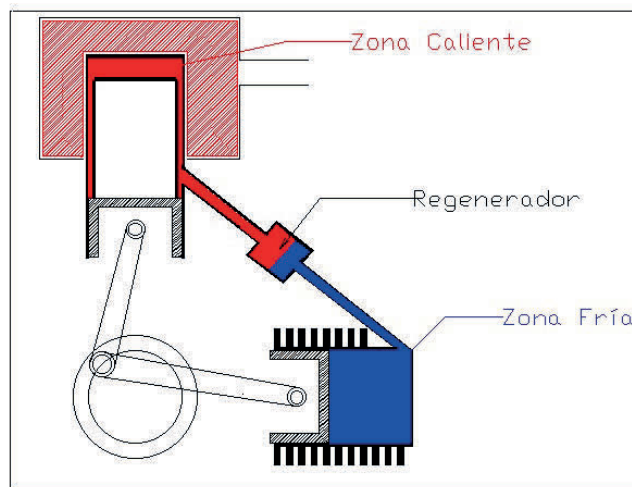


Figura 3.2: Ejemplo de funcionamiento de motor Stirling (SEAS, 2019).

Aunque no son tan comunes como los motores de combustión interna, los motores Stirling se utilizan en aplicaciones específicas donde su eficiencia y capacidad para usar diversas fuentes de calor son ventajosas:

- Submarinos: En submarinos de investigación y militares, donde su operación silenciosa es crucial.
- Sistemas de Energía Solar: Utilizados en generadores solares para convertir la energía térmica del sol en electricidad.

- Co-generación de Energía y Calor: En sistemas de calefacción residencial y comercial para generar tanto electricidad como calor.

A pesar de sus ventajas, los motores Stirling no han alcanzado una adopción masiva debido a desafíos en costos de producción y complejidad de diseño. Sin embargo, continúan siendo objeto de investigación y desarrollo, especialmente en áreas donde se valora su eficiencia energética y capacidad de utilizar fuentes de calor renovables.

## 3.2. Motor de combustión interna

Un motor de combustión interna es un tipo de motor que convierte la energía química contenida en el combustible en energía mecánica a través de un proceso de combustión dentro de una cámara de combustión interna. Este proceso implica la mezcla controlada de combustible y aire, seguido de su ignición y la liberación de energía que impulsa los pistones dentro del motor. (Heywood, 1988).

El concepto de motor de combustión interna se remonta a principios del siglo XIX, aunque los primeros prototipos prácticos surgieron en la segunda mitad del siglo XIX. Uno de los primeros motores de este tipo fue desarrollado por el ingeniero belga Étienne Lenoir en 1859, que utilizaba gas de carbón como combustible. Sin embargo, fue el ingeniero alemán Nikolaus Otto quien perfeccionó el diseño del motor de cuatro tiempos en la década de 1870, sentando las bases para el desarrollo futuro de los motores de combustión interna modernos. (Ganesan, 2004).

Los motores de combustión interna han experimentado numerosas mejoras y variaciones a lo largo de los años, incluyendo el desarrollo de motores de dos tiempos, motores diésel, motores rotativos y motores de combustión interna alternativos, como los motores Wankel. Estos motores se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde automóviles y camiones hasta aviones, barcos, generadores y maquinaria industrial.

## 3.3. Ciclo de Carnot

El ciclo de Carnot es un modelo termodinámico ideal que describe el funcionamiento de un motor térmico reversible, es decir, un motor que puede operar en ambas direcciones y que no genera

pérdidas de energía. Este ciclo consta de cuatro etapas: expansión isotérmica, expansión adiabática, compresión isotérmica y compresión adiabática. (Turns, 2012).

En la siguiente figura 3.3 se observa un máquina de Carnot y se muestran las cuatro etapas. La expansión isotérmica, el gas se expande a temperatura constante y realiza trabajo al mover un pistón. Luego, en la expansión adiabática, el gas se expande sin transferencia de calor, enfriándose en el proceso. En la compresión isotérmica, el gas se comprime a temperatura constante, liberando calor al entorno. Finalmente, en la compresión adiabática, el gas se comprime sin transferencia de calor, aumentando su temperatura.

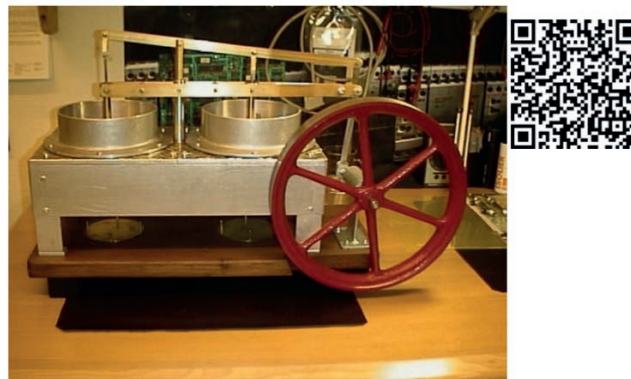


Figura 3.3: Máquina de Carnot (Simplemente Física, 2013)

Este ciclo demuestra que la eficiencia de un motor térmico ideal está determinada por la diferencia de temperatura entre la fuente caliente y la fuente fría, siendo la eficiencia máxima cuando la expansión y la compresión son isotérmicas. Este ciclo de Carnot proporciona un marco teórico para comprender su funcionamiento y evaluar su eficiencia. Aunque los motores de combustión interna no operan exactamente según el ciclo de Carnot debido a las inevitables pérdidas de energía por fricción y calor, este ciclo sirve como una referencia para establecer límites teóricos de eficiencia.

### 3.4. Ciclo Otto

El ciclo Otto es el proceso termodinámico que ocurre en los motores de combustión interna de gasolina, como los que se encuentran en la mayoría de los automóviles. Se compone de cuatro etapas: admisión, compresión, combustión y escape (Payri González & Desantes Fernández, 2011).

- **Admisión:** Durante esta etapa, la mezcla de aire y combustible (gasolina) entra en la cámara de combustión del motor. La válvula de admisión se abre y el pistón baja, creando un espacio donde entra la mezcla.
- **Compresión:** Una vez que la mezcla de aire y combustible está dentro de la cámara de combustión, la válvula de admisión se cierra y el pistón sube, comprimiendo la mezcla. Esta compresión aumenta la temperatura y la presión de la mezcla, preparándola para la combustión.
- **Combustión:** En esta etapa, la bujía produce una chispa eléctrica que enciende la mezcla comprimida. La combustión rápida y controlada de la mezcla genera una gran cantidad de energía térmica, que expande los gases y empuja el pistón hacia abajo. Este movimiento es lo que impulsa el funcionamiento del motor y hace girar el cigüeñal.
- **Escape:** Una vez que la combustión ha ocurrido y el pistón ha alcanzado la parte más baja de su carrera, la válvula de escape se abre y los gases de escape se expulsan de la cámara de combustión hacia el sistema de escape del vehículo.

Este ciclo se repite continuamente mientras el motor está en funcionamiento, proporcionando la potencia necesaria para impulsar el vehículo. La eficiencia y el rendimiento del motor Otto dependen de diversos factores, como la relación de compresión, la calidad de la mezcla aire-combustible y el diseño del sistema de admisión y escape. Se puede ver una animación en la siguiente figura 3.4 .

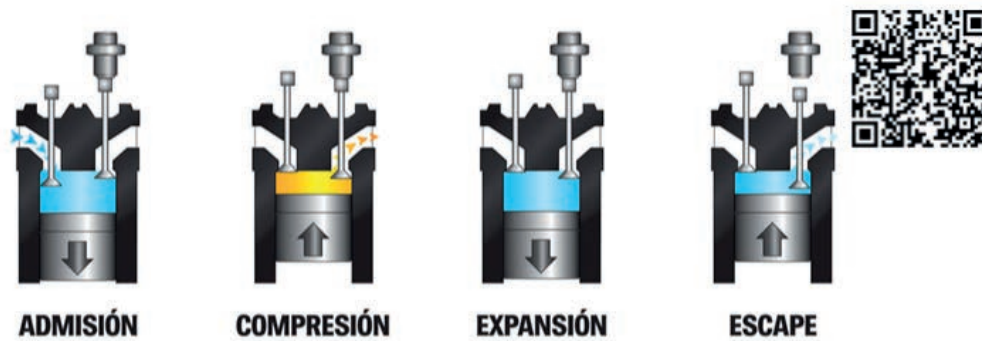


Figura 3.4: Ciclo Otto (Universidad de Sevilla, 2017)

## 3.5. Principios de motores a gasolina y diésel

Los motores a gasolina y diésel son dos tipos de motores de combustión interna que funcionan según principios básicos similares pero con algunas diferencias clave:

### Motor a Gasolina:

- Utiliza gasolina como combustible.
- Funciona según el ciclo Otto, que consta de cuatro etapas: admisión, compresión, combustión y escape.
- La mezcla de aire y gasolina se comprime y luego se enciende mediante una chispa eléctrica generada por la bujía.
- Los motores a gasolina son conocidos por su funcionamiento suave y su respuesta rápida.

### Motor Diésel:

- Utiliza diésel como combustible.
- Funciona según un ciclo de compresión-ignición, donde solo el aire se comprime dentro de la cámara de combustión y luego se enciende el diésel por la alta temperatura y presión generada durante la compresión.
- Los motores diésel son conocidos por su eficiencia en el consumo de combustible y su capacidad para producir un alto par motor a bajas revoluciones.

En ambos tipos de motores, la energía liberada por la combustión del combustible se convierte en movimiento lineal de los pistones, que luego se transfiere a movimiento rotativo a través del cigüeñal para impulsar el vehículo o la maquinaria. Estos principios básicos son fundamentales para comprender el funcionamiento y el rendimiento de los motores de combustión interna.

### 3.5.1. Partes del motor y principales diferencias

Tanto en un motor a gasolina como en uno diésel, las partes principales son similares en función, aunque pueden variar ligeramente en diseño y especificaciones. Figura 3.5. Aquí están las partes

principales de ambos motores y algunas diferencias importantes:

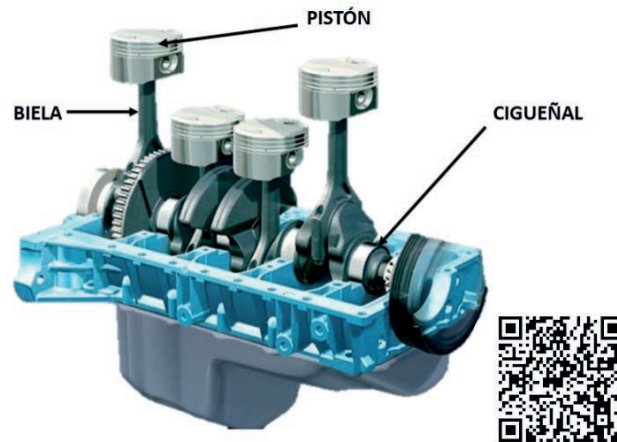


Figura 3.5: Partes básicas de un motor (Anónimo, 2015)

### Partes principales de un motor a gasolina: Figura 3.6.

- Cilindros y pistones: Son los componentes donde ocurre la combustión del combustible. Los pistones se mueven hacia arriba y hacia abajo dentro de los cilindros para convertir la energía de la combustión en movimiento.
- Bujías: Generan una chispa eléctrica para encender la mezcla de aire y gasolina en la cámara de combustión.
- Sistema de admisión: Incluye el colector de admisión y el filtro de aire, que suministran aire fresco al motor para mezclarlo con el combustible antes de la combustión.
- Sistema de combustible: Suministra gasolina al motor a través de un sistema de inyección de combustible o un carburador.
- Árbol de levas: Controla la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape para permitir el flujo de aire y gases dentro y fuera de los cilindros en los momentos adecuados.
- Sistema de escape: Canaliza los gases de escape fuera del motor después de la combustión.

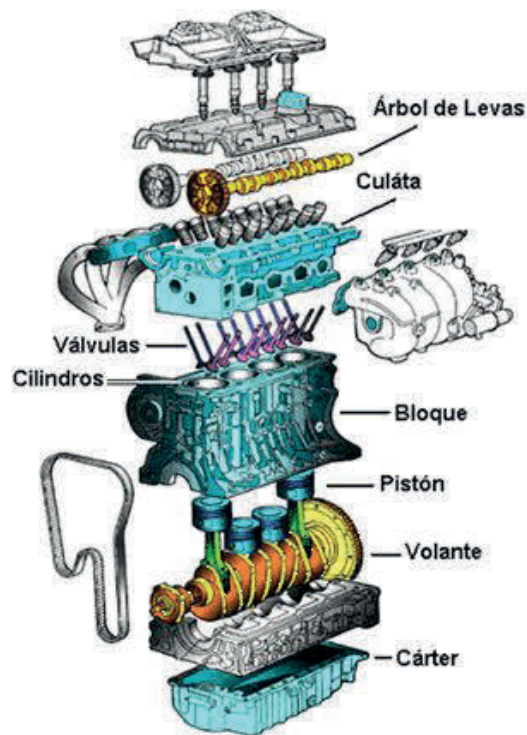


Figura 3.6: Partes de un motor a gasolina (Anónimo, 2015)

#### Partes principales de un motor diésel. Figura 3.7:

- Cilindros y pistones: Funcionan de manera similar a los de un motor a gasolina, pero en un motor diésel los pistones comprimen solo aire en la cámara de combustión.
- Inyector de combustible: Rocía diésel directamente en la cámara de combustión a alta presión, donde se mezcla con el aire comprimido y se enciende espontáneamente debido a la alta temperatura y presión.
- Sistema de admisión: Proporciona aire fresco al motor de manera similar a un motor a gasolina.
- Bomba de inyección: Suministra diésel al sistema de inyectores a alta presión.
- Sistema de escape: Dirige los gases de escape fuera del motor después de la combustión, similar al sistema en un motor a gasolina.

Las diferencias fundamentales entre un motor a gasolina y uno diésel se centran en el método de encendido de la combustión y la forma en que se suministra el combustible al motor. En un motor a gasolina, la ignición de la mezcla de aire y gasolina se logra mediante una chispa eléctrica, mientras

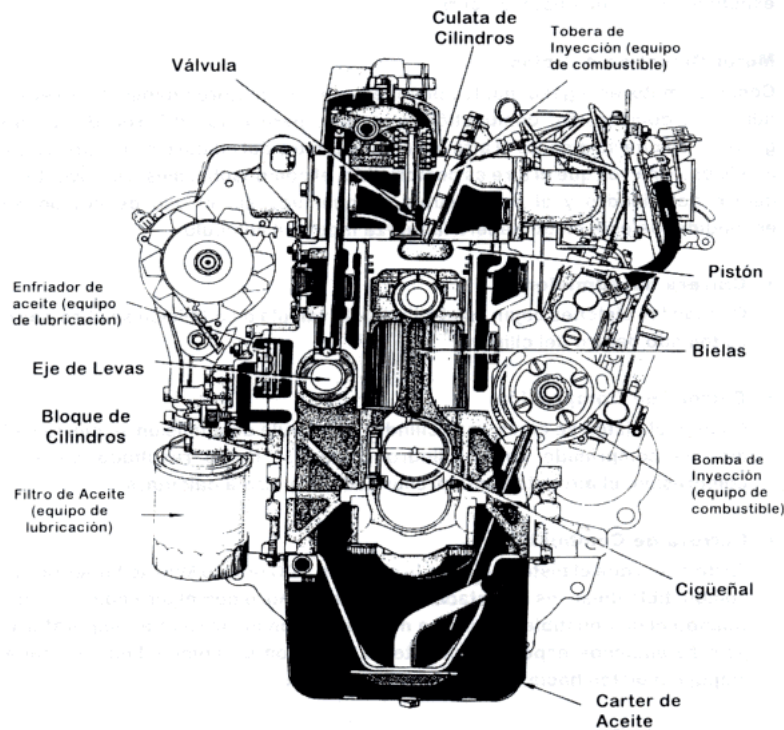


Figura 3.7: Partes de un motor Diésel (Anónimo, 2015)

que en un motor diésel, el encendido del combustible diésel ocurre por la alta temperatura y presión generada durante la compresión del aire. Es importante destacar que ambos motores operan según el principio del Ciclo Otto, aunque presentan diferencias significativas en la configuración interna de sus componentes. La Figura 3.8 ilustra los componentes internos de un cilindro de 4 tiempos, mientras que la animación detalla la distinción en el funcionamiento entre un motor a gasolina y uno diésel.

### 3.5.2. Motores de cuatro tiempos

Los motores de cuatro tiempos funcionan con el principio del ciclo Otto que ya se mencionó anteriormente, la admisión, compresión, combustión y escape. En la siguiente Figura 3.9 se muestra a detalle el recorrido de los cuatro tiempos, podrás notar a detalle la sincronización de las levas y la apertura y cierre de válvulas, así como la bujía generando la chispa necesaria para lograrse la combustión. Estos motores son ampliamente utilizados en una variedad de aplicaciones debido a su eficiencia, confiabilidad y versatilidad. Son fundamentales en el transporte terrestre, incluidos vehículos de pasajeros, camiones, autobuses y motocicletas, proporcionando potencia, eficiencia de combustible y bajos niveles de emisiones. Además, son esenciales en la generación de energía, tanto estacionaria

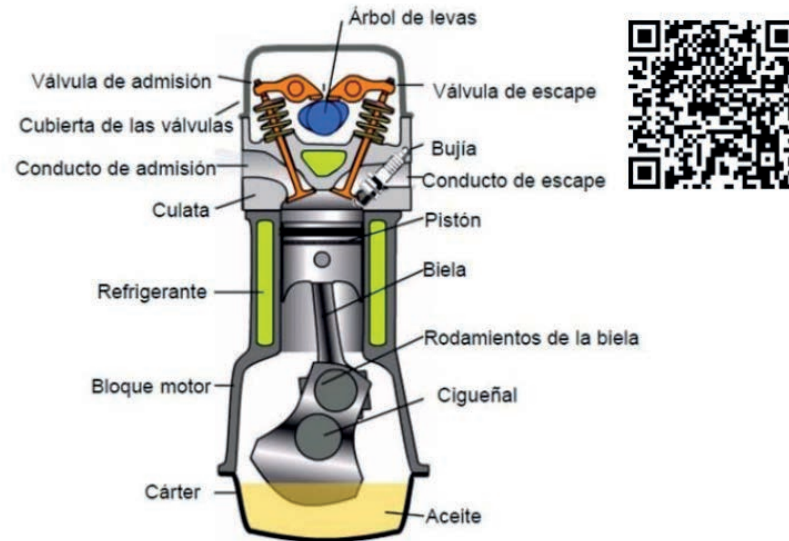


Figura 3.8: Vista interna del cilindro (Anónimo, 2015)

como portátil, manteniendo la electricidad en caso de cortes de energía o en áreas sin acceso a la red eléctrica. En la industria marítima y aérea, alimentan motores de embarcaciones y aviones ligeros, proporcionando la potencia necesaria para la propulsión y la generación de electricidad a bordo. En la agricultura y la construcción, alimentan una variedad de equipos, como tractores, cosechadoras y excavadoras, mientras que en aplicaciones industriales, se utilizan en bombas, compresores, equipos de minería y sistemas de refrigeración (Ragland & Bryden, 2011).

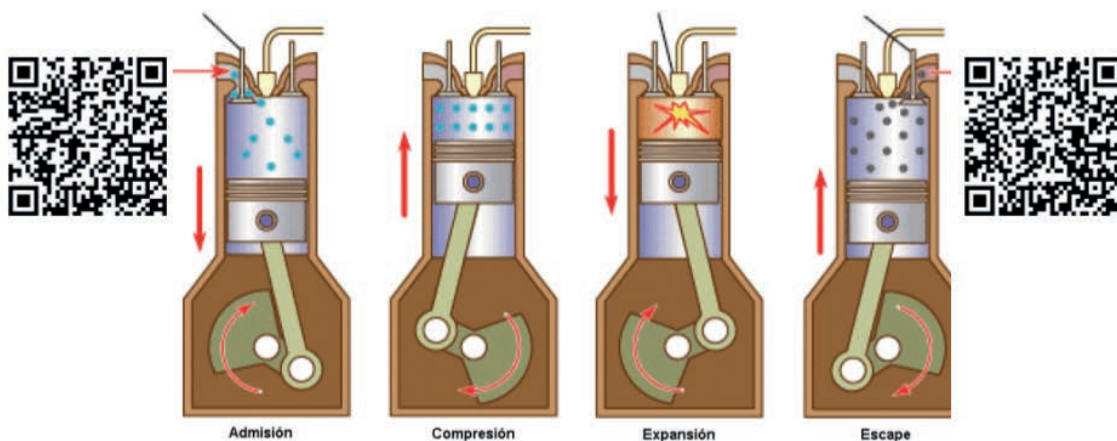


Figura 3.9: Recorrido del pistón en cuatro tiempos (Microscopio, 2023)

### 3.5.3. Motor Atkinson

El motor Atkinson es un tipo de motor de combustión interna que se distingue por su ciclo termodinámico, diseñado para mejorar la eficiencia térmica. Este motor fue inventado por James Atkinson en 1882 y se caracteriza por un ciclo en el cual las fases de expansión y compresión tienen diferentes longitudes. Esto se logra mediante una configuración mecánica particular que altera la duración efectiva de las fases del ciclo de cuatro tiempos. Figura 3.10. (Feldman, 2008).

El ciclo Atkinson modificado en motores modernos se basa en el ciclo Otto de cuatro tiempos, pero introduce una modificación clave en la fase de compresión y expansión para mejorar la eficiencia:

- Admisión: La válvula de admisión se cierra más tarde de lo habitual, reduciendo la carrera efectiva de compresión.
- Compresión: La carrera de compresión es más corta, lo que reduce la relación de compresión efectiva.
- Expansión: La carrera de expansión es más larga, permitiendo que los gases de combustión se expandan más completamente, extrayendo más energía y reduciendo la temperatura de los gases de escape.
- Escape: La válvula de escape se abre al final de la carrera de expansión, expulsando los gases de combustión.



Figura 3.10: Motor Atkinson (Wikimedia Commons, 2016)

### 3.5.3.1. Características técnicas y aplicaciones

En el motor Atkinson, la relación de expansión es mayor que la relación de compresión, lo que maximiza la conversión de la energía de los gases de combustión en trabajo mecánico. Esta mayor relación de expansión contribuye a una mayor eficiencia térmica, resultando en una mejor economía de combustible. En los diseños originales del motor Atkinson, se utilizaban mecanismos complejos de bielas y manivelas para lograr la diferencia en las longitudes de carrera de compresión y expansión. En los diseños modernos, esta diferencia se logra principalmente mediante la gestión electrónica del tiempo de apertura de las válvulas (Henaó-Castañeda et al., 2018).

Los motores Atkinson son comúnmente utilizados en vehículos híbridos, donde la eficiencia de combustible es crucial. Toyota, por ejemplo, utiliza una versión modificada del ciclo Atkinson en sus motores híbridos, como en el Prius, para maximizar la eficiencia del motor en combinación con el sistema de propulsión eléctrica. En los vehículos híbridos, el motor Atkinson se combina con un motor eléctrico, que proporciona asistencia en situaciones donde se requiere alta potencia, compensando la menor densidad de potencia del motor Atkinson (Sagastume Alvarado, 2016). Este arreglo permite que el motor Atkinson opere en su rango de máxima eficiencia la mayor parte del tiempo, mientras que el motor eléctrico maneja las demandas de potencia transitoria.

El motor Atkinson representa una innovación significativa en la tecnología de motores de combustión interna, ofreciendo una mejor eficiencia de combustible y menores emisiones. Su implementación en vehículos híbridos ha permitido aprovechar sus ventajas mientras se mitigan sus desventajas, resultando en sistemas de propulsión altamente eficientes y ambientalmente responsables.

#### **Ventajas:**

- **Eficiencia de Combustible:** Mayor eficiencia térmica en comparación con los motores de ciclo Otto convencionales.
  - **Emisiones Reducidas:** Menores emisiones de gases de escape debido a la mayor eficiencia y la menor temperatura de los gases de escape.

#### **Desventajas:**

- **Potencia Específica Menor:** La reducción en la carrera de compresión puede resultar en una

menor densidad de potencia, lo que significa que el motor produce menos potencia por unidad de desplazamiento en comparación con un motor de ciclo Otto.

- Complejidad Mecánica: Los diseños originales de Atkinson implicaban una mecánica más compleja, aunque esto se ha mitigado en los diseños modernos con control electrónico de válvulas (Liu et al., 2005).

### 3.5.4. Motor Wankel

El motor Wankel, también conocido como motor rotativo, es un tipo de motor de combustión interna que utiliza un diseño rotativo en lugar del diseño convencional de pistones recíprocos. Fue inventado por el ingeniero alemán Felix Wankel y desarrollado por la empresa NSU Motorenwerke AG en la década de 1950. Se caracteriza por su rotor triangular que gira dentro de una cámara de forma epitrocoide. El diseño del rotor y la cámara permite realizar las cuatro etapas del ciclo de combustión interna (admisión, compresión, combustión y escape) a través del movimiento rotativo continuo del rotor como se observa en la Figura 3.11 (Hege, 2006) .

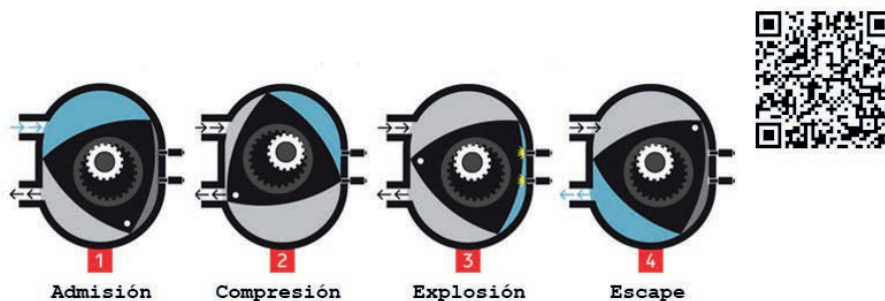


Figura 3.11: Tiempos del motor Wankel

- Admisión: A medida que el rotor gira, una de las cavidades del rotor se alinea con la entrada de admisión, permitiendo que la mezcla aire-combustible entre en la cámara de combustión.
- Compresión: Continuando su rotación, el rotor comprime la mezcla aire-combustible a medida que la cavidad se mueve hacia la sección más estrecha de la cámara.
- Explosión: Continuando su rotación, el rotor comprime la mezcla aire-combustible a medida que la cavidad se mueve hacia la sección más estrecha de la cámara.

- **Combustión:** La mezcla comprimida se enciende mediante una bujía, generando una explosión que empuja el rotor y produce trabajo mecánico.
- **Escape:** Finalmente, la cavidad del rotor se alinea con el puerto de escape, permitiendo que los gases quemados sean expulsados de la cámara.

#### **3.5.4.1. Características Técnicas, ventajas y desventajas**

- **Diseño Compacto:** El motor Wankel es más compacto y ligero en comparación con los motores de pistones recíprocos debido a su diseño simplificado con menos partes móviles.
- **Suavidad de Funcionamiento:** Debido a la rotación continua del rotor, el motor Wankel genera menos vibraciones y opera de manera más suave.
- **Alta Relación Potencia-Peso:** La eficiencia volumétrica y la capacidad de girar a altas revoluciones permiten que el motor Wankel ofrezca una alta potencia específica en relación con su tamaño y peso.

#### **Ventajas**

- **Compactación y Ligereza:** Su diseño permite obtener un motor más compacto y ligero.
- **Menor Vibración:** Funcionamiento más suave debido a la ausencia de movimientos alternativos.
- **Alto Rendimiento a Altas RPM:** Capacidad de operar eficientemente a altas revoluciones.

#### **Desventajas:**

- **Eficiencia de Combustible:** Menor eficiencia térmica en comparación con motores de pistones convencionales.
- **Emisiones:** Mayor consumo de aceite y emisiones de hidrocarburos no quemados.
- **Desgaste del Rotor:** Desgaste más rápido en los sellos del rotor, lo que puede llevar a un mayor mantenimiento.

El motor Wankel ha sido utilizado en una variedad de aplicaciones, desde automóviles deportivos hasta aviones ligeros y generadores portátiles. Mazda es la compañía más asociada con el desarrollo y uso del motor Wankel, especialmente en su línea de autos deportivos como el RX-7 y el RX-8 (Mazda retorna con el motor Wankel, 2001). Con su innovador diseño rotativo, ofrece varias ventajas en términos de compactación, suavidad de funcionamiento y rendimiento a altas revoluciones. Sin embargo, también presenta desafíos en términos de eficiencia de combustible y emisiones, lo que ha limitado su adopción generalizada. A pesar de estas limitaciones, sigue siendo una solución interesante y única dentro del campo de los motores de combustión interna.

### **3.5.5. Disposición de Motores**

La disposición de motores en vehículos se refiere a la forma en que los cilindros del motor están organizados en relación con el cigüeñal y el vehículo en sí. Existen varias configuraciones comunes, cada una con sus propias ventajas y desventajas, dependiendo del diseño y las necesidades del vehículo. Las tres disposiciones más comunes son: transversal, en "V" y en línea. En la Figura 3.12 se puede observar la disposición de los motores y su movimiento.

La disposición de los motores varía según las necesidades del vehículo y las prioridades de diseño. Los motores transversales se utilizan para ahorrar espacio en vehículos compactos con tracción delantera, los motores en "V" para una mejor distribución del peso y mayor potencia en vehículos de alto rendimiento, y los motores en línea por su simplicidad y facilidad de mantenimiento en automóviles de todos los segmentos. Cada configuración tiene sus propias ventajas y desventajas, influyendo en aspectos como el espacio, la complejidad del motor y la eficiencia del vehículo.

#### **3.5.5.1. Motor Transversal**

El motor transversal o también conocido como opuesto es un tipo de disposición en la que el eje del cigüeñal está colocado perpendicularmente al eje longitudinal del vehículo. Esta configuración es común en vehículos con tracción delantera debido a su eficiencia en el uso del espacio y la simplificación de la transmisión. Tiene un uso común en automóviles compactos y mediano, donde el ahorro de espacio es crucial.

**Características:**

- **Espacio Compacto:** Permite un diseño más compacto del compartimiento del motor, dejando más espacio para el habitáculo.
- **Tracción Delantera:** Comúnmente utilizado en vehículos con tracción delantera, facilitando la conexión directa entre el motor y la transmisión.
- **Eficiencia de Costos:** Reducción en el número de componentes y en la complejidad de la transmisión.

**3.5.5.2. Motor en V**

El motor en “V” tiene los cilindros dispuestos en dos bancos que forman un ángulo en forma de “V” con respecto al cigüeñal. Esta disposición se utiliza para reducir la longitud del motor y mejorar la distribución del peso. Su uso más común es en automóviles de alto rendimiento, deportivos y vehículos de lujo, así como camiones y vehículos industriales.

**Características:**

- **Compacidad:** Permite un diseño más corto y más compacto en comparación con los motores en línea.
- **Equilibrio:** Mejor equilibrio dinámico, especialmente en configuraciones V6 y V8, lo que reduce las vibraciones.
- **Potencia:** Capacidad de alojar un mayor número de cilindros en un espacio más compacto.

**3.5.5.3. Motor en Línea**

El motor en línea (o motor lineal) tiene todos sus cilindros dispuestos en una única fila. Esta es una de las configuraciones más simples y económicas de fabricar. Su uso más común es en automóviles pequeños y medianos, así como algunos vehículos comerciales ligeros.

**Características:**

- Simplicidad: Diseño más simple, lo que facilita la fabricación y el mantenimiento.
- Equilibrio: Generalmente, los motores de cuatro cilindros en línea tienen un buen equilibrio inherente.
- Eficiencia: Buena eficiencia térmica debido a la simplicidad del diseño del bloque de cilindros y del sistema de refrigeración.

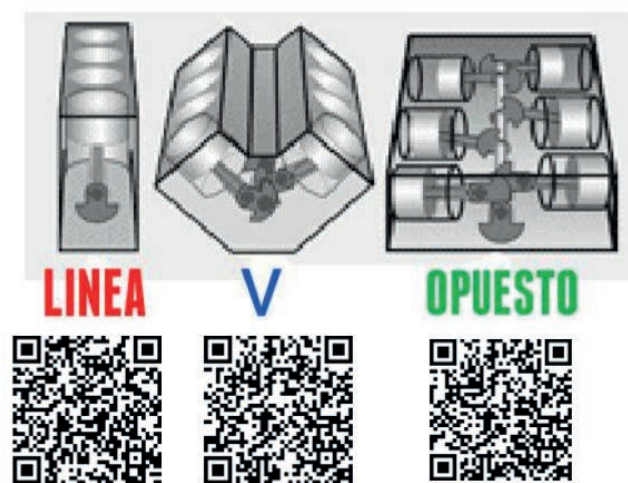


Figura 3.12: Disposición de motores

### 3.6. Motor Diesel

Los motores diésel, inventados por Rudolf Diesel en 1892, son motores de combustión interna que funcionan con diésel, un combustible más denso y energético que la gasolina. Estos motores comprimen el aire a alta presión, elevando su temperatura lo suficiente como para encender el combustible inyectado sin necesidad de bujías. Esto se traduce en una mayor eficiencia de combustible, durabilidad y capacidad para generar alto torque a bajas revoluciones. Hay que aclarar que los motores Diésel tienen el mismo principio del ciclo Otto y por ello es parte de los motores de cuatro tiempos, solo con una diferencia principal. Los motores diésel no requieren una bujía para generar una chispa en la cámara de combustión. En su lugar, la combustión ocurre debido a la alta compresión del aire,

que eleva su temperatura lo suficiente para encender el combustible. A diferencia de los motores de gasolina, los diésel utilizan la presión generada dentro de la cámara de combustión, entre el pistón y los cilindros, para inflamar el combustible. Este proceso es asistido por un inyector que introduce el diésel a alta presión en el momento preciso (Kates & Luck, 2021).

Debido a sus características, los motores diésel se utilizan ampliamente en el transporte pesado, como camiones y autobuses, así como en maquinaria de construcción y agrícola, generadores de energía, embarcaciones marinas y, en algunos casos, vehículos de pasajeros. Su eficiencia y durabilidad los hacen ideales para aplicaciones que requieren fuerza y fiabilidad, como el arrastre de cargas pesadas y la operación en condiciones extremas. Sin embargo, los motores diésel presentan desafíos, como emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y partículas, que son perjudiciales para el medio ambiente y la salud. Además, tienden a ser más ruidosos y generar más vibraciones que los motores de gasolina. A pesar de esto, la tecnología ha avanzado significativamente con sistemas de inyección directa de alta presión, turbocompresores y post-tratamiento de gases para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones (Sánchez et al., 2013).

El futuro de los motores diésel sigue siendo prometedor con la investigación en biocombustibles y combustibles sintéticos, ofreciendo un potencial para hacer esta tecnología más sostenible. Su relevancia en diversas industrias continúa, impulsada por su eficiencia, durabilidad y capacidad de adaptación a nuevas tecnologías y regulaciones ambientales .

Algo importante a mencionar, es que estos motores no funcionan con diésel, la realidad es que el nombre del combustible que utilizan es "gasoil". Se utiliza para referirse al diésel debido a su origen y características similares al aceite de gas. En algunos países, "gasoil" y "diésel" se usan indistintamente, aunque técnicamente pueden referirse a diferentes calidades del mismo tipo de combustible.

### **3.6.1. Diferencias entre Motores Diésel y Motores a Gasolina**

Los motores diésel operan mediante la compresión del aire para encender el combustible, lo que resulta en una mayor eficiencia de combustible y un notable incremento del torque a bajas revoluciones. En contraste, los motores a gasolina utilizan una chispa para encender la mezcla de aire y combustible,

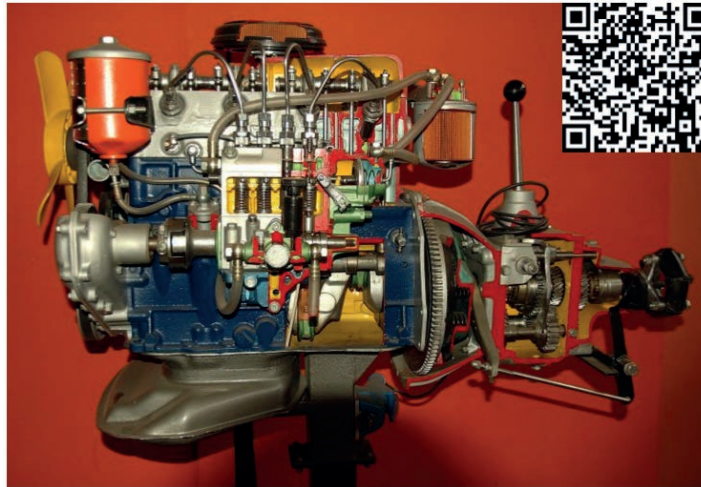


Figura 3.13: Motor Diesel

lo que les permite ser más ligeros y ofrecer una aceleración más rápida. La elección entre motores diésel y a gasolina depende en gran medida de la aplicación y los requisitos específicos del vehículo. Los motores diésel, con su eficiencia y robustez, son preferidos para aplicaciones que demandan alto torque y durabilidad, mientras que los motores a gasolina son la elección preferida para vehículos ligeros que priorizan la suavidad y la agilidad en la conducción.

#### **3.6.1.1. Eficiencia y Rendimiento**

En términos de eficiencia de consumo de combustible, los motores diésel superan a los motores a gasolina debido a su mayor relación de compresión y la naturaleza del ciclo de combustión. Además, los motores diésel generan un torque superior, especialmente a bajas revoluciones, lo cual es ideal para aplicaciones que requieren fuerza constante y prolongada. Sin embargo, los motores a gasolina, aunque menos eficientes en consumo de combustible y con menor producción de torque, compensan con una operación más suave y ligera, además de una respuesta de aceleración más rápida.

#### **3.6.1.2. Aplicaciones**

La durabilidad y eficiencia de los motores diésel los hacen ideales para vehículos pesados como camiones, autobuses y maquinaria industrial. Estas aplicaciones se benefician de la alta eficiencia de combustible y el considerable torque que los motores diésel proporcionan, lo cual es crucial para el transporte de cargas pesadas y operaciones de larga duración. Por otro lado, los motores a gasolina

son predominantemente utilizados en automóviles ligeros y vehículos de pasajeros. La menor masa y la operación más silenciosa de los motores a gasolina los hacen adecuados para entornos urbanos y viajes de menor distancia, donde el confort y la rápida respuesta de aceleración son valorados.

### **Funcionamiento Básico**

#### Motores Diésel:

- Utilizan la compresión del aire para encender el combustible.
- No requieren bujías; el combustible se inyecta en el aire comprimido y caliente, causando la ignición espontánea.

#### Motores a Gasolina:

- Utilizan una mezcla de aire y gasolina que se enciende mediante bujías.
- Requieren una chispa eléctrica para la ignición.

#### Relación de Compresión:

- Diésel: Alta relación de compresión (14:1 a 25:1).
- Gasolina: Baja relación de compresión (8:1 a 12:1).

#### Combustible

- Diésel: Usa diésel, un combustible más denso y energético.
- Gasolina: Usa gasolina, que es menos densa.

### **Ventajas y Desventajas**

#### Ventajas de los Motores Diésel

- Eficiencia de Combustible: Mayor eficiencia debido a la alta relación de compresión y al mayor contenido energético del diésel.
- Durabilidad: Construidos para soportar altas presiones, suelen tener una vida útil más larga.

- Torque Alto: Generan más torque a bajas revoluciones, ideal para aplicaciones que requieren fuerza de arrastre.
- Economía: Generalmente, el diésel es más económico por kilómetro recorrido.

#### Desventajas de los Motores Diésel

- Emisiones: Producen más óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y partículas que son perjudiciales para el medio ambiente.
- Ruido y vibración: Los motores diésel generan más vibraciones y producen un nivel de ruido superior al de los motores de gasolina.
- Costo Inicial: Suelen ser más caros de fabricar y mantener debido a su construcción robusta.
- Menor Aceleración: Pueden tener una menor capacidad de aceleración rápida en comparación con los motores de gasolina.

#### Ventajas de los Motores a Gasolina

- Menos Emisiones de Partículas: Producen menos partículas en comparación con los motores diésel.
- Silenciosos: Menos ruido y vibración.
- Aceleración Rápida: Mejor capacidad de aceleración.
- Costo Inicial: Generalmente, los vehículos con motores a gasolina son más baratos de fabricar y mantener.

#### Desventajas de los Motores a Gasolina

- Menor Eficiencia de Combustible: Menos eficientes en términos de consumo de combustible.
- Durabilidad: Menor vida útil en comparación con los motores diésel debido a la menor robustez de su construcción.

- Torque: Menor torque a bajas revoluciones, lo que puede ser una desventaja para aplicaciones que requieren fuerza de arrastre.

Los vehículos que utilizan motores diésel se eligen principalmente por su capacidad para enfrentar tareas exigentes y largos periodos de funcionamiento. Estos vehículos incluyen camiones, autobuses, maquinaria de construcción y agrícola, generadores de energía, y embarcaciones marinas (Parera, 1996). Los motores diésel ofrecen alta eficiencia de combustible, durabilidad, y generación de alto torque, características cruciales para transportar cargas pesadas, realizar trabajos pesados en construcción y agricultura, suministrar energía confiable, y navegar por largas distancias en el mar. Además, en algunas regiones, los automóviles diésel son populares debido a su economía de combustible y a políticas fiscales favorables.



# Capítulo 4

## Dinámica del vehículo

La dinámica del vehículo se refiere al estudio de cómo los vehículos se mueven y se comportan en movimiento, y cómo interactúan con las fuerzas y las leyes de la física durante la conducción. Comprende aspectos como la aceleración, la dirección, el frenado, la estabilidad y el control del vehículo. En el caso de los camiones pesados, la dinámica del vehículo es de particular importancia debido a las características y desafíos específicos asociados con estos vehículos (Rajamani, 2011). La dinámica del vehículo es esencial en el contexto de los camiones pesados para garantizar su seguridad, estabilidad, control y eficiencia. Los fabricantes de camiones, ingenieros y conductores deben comprender y gestionar estos aspectos de la dinámica del vehículo para asegurar un transporte seguro y eficiente de cargas pesadas en carreteras y autopistas.

La dinámica del vehículo influye en los camiones pesados de varias maneras:

- Estabilidad y control: Los camiones pesados, debido a su mayor peso y longitud, pueden ser más propensos a la inestabilidad en ciertas situaciones, como al tomar curvas, al frenar bruscamente o al enfrentar condiciones de viento fuerte. La dinámica del vehículo se utiliza para comprender cómo estos factores afectan la estabilidad y el control del camión.
- Frenado y distancia de frenado: Los camiones pesados requieren distancias de frenado más largas que los vehículos ligeros debido a su mayor masa. La dinámica del vehículo se utiliza para calcular la distancia de frenado y diseñar sistemas de frenado adecuados para garantizar una detención segura.

- **Distribución de peso:** La forma en que se distribuye la carga en un camión pesado es crucial para su estabilidad y maniobrabilidad. Los ingenieros deben considerar la distribución del peso en el diseño del camión y los conductores deben ajustar la carga de manera adecuada para mantener la estabilidad.
- **Suspensión:** La suspensión en camiones pesados debe ser robusta y diseñada para soportar cargas significativas, lo que afecta la dinámica del vehículo y la comodidad del conductor.
- **Dinámica de tracción:** La tracción en las ruedas de un camión pesado es esencial para garantizar el movimiento eficiente en diversas condiciones de carretera y clima. Esto incluye sistemas de tracción en las ruedas y la gestión de la potencia del motor. **Control de la dirección:** El sistema de dirección en un camión pesado debe ser capaz de controlar el vehículo de manera eficiente, especialmente en situaciones de alta carga y en carreteras con curvas pronunciadas.
- **Estabilidad lateral:** La estabilidad lateral es crítica para evitar vuelcos en camiones pesados durante giros o maniobras bruscas. La dinámica del vehículo se aplica para comprender y mejorar la estabilidad lateral.

## 4.1. Eje de transmisión

Los ejes de transmisión o Cardán es un componente crucial en los sistemas motrices de los camiones, encargados de transferir la potencia generada por el motor a las ruedas motrices. Su diseño y robustez aseguran que los camiones puedan manejar cargas pesadas y operar de manera confiable en una variedad de condiciones. Entender cómo funcionan y cómo calcular las fuerzas y torques involucrados es fundamental para el diseño y mantenimiento de vehículos pesados eficientes y seguros. Esta transferencia de potencia es esencial para que el vehículo pueda moverse, ya que convierte la energía mecánica del motor en movimiento rotacional de las ruedas 4.1 (Nadeem et al., 2018).

Los ejes de transmisión tienen varias funciones clave:

- **Transferencia de Potencia:** Llevan la potencia desde la caja de cambios hasta las ruedas motrices.

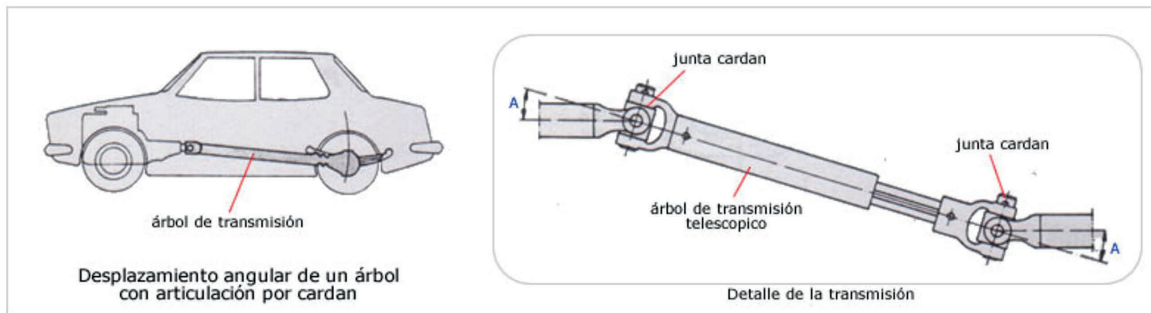


Figura 4.1: Eje de transmisión. (Anónimo, 2023)

- Adaptación del Par y Velocidad: Ayudan a adaptar el par motor y la velocidad de rotación de acuerdo con las necesidades de conducción y carga del camión.
- Absorción de Variaciones: Absorben las variaciones en la distancia y ángulo entre la caja de cambios y las ruedas debido a la suspensión y al movimiento del chasis, asegurando una transmisión de potencia suave y continua. (Borja et al., 2009).

#### 4.1.1. Componentes y Tipos de Ejes

Los ejes de transmisión pueden ser de varios tipos, incluyendo ejes rígidos y semirrígidos, dependiendo del diseño del vehículo y de sus necesidades específicas. Un eje rígido es ideal para vehículos que requieren alta capacidad de carga y durabilidad, mientras que los ejes semirrígidos ofrecen más flexibilidad y confort en la conducción. En la Figura 4.2 se aprecia un eje de transmisión junto a otros componentes que serán explicados mas adelante (Zulueta López, 2019).

- Eje Rígido: Común en camiones de carga pesada debido a su capacidad para soportar grandes fuerzas y mantener la alineación bajo cargas extremas.
- Eje Semirrígido: Utilizado en camiones que requieren más flexibilidad y maniobrabilidad.

#### 4.1.2. Ejemplo de cálculo

Para entender mejor el papel de los ejes de transmisión, consideremos un cálculo simple relacionado con el torque y la fuerza transmitida a las ruedas, calculando el torque en un eje de transmisión.

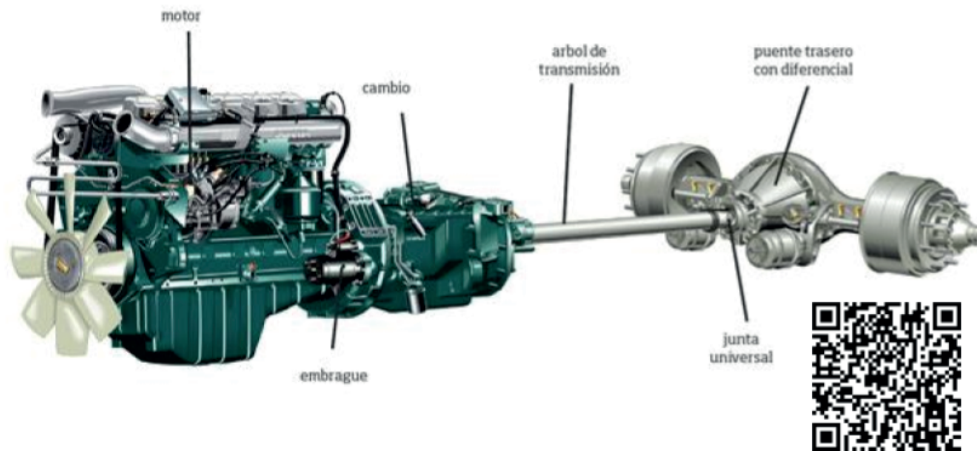


Figura 4.2: Distribución del eje de transmisión (Decorados Moya, 2024)

Se tiene un camión con un motor que produce un torque de 2000 Nm a la salida de la caja de cambios. Este torque debe ser transferido a las ruedas motrices a través del eje de transmisión.

Torque del motor  $T_{motor} = 2000 Nm$

Relación de Transmisión Final ( $i$ ): Supongamos que la relación de transmisión final es 4:1.

La relación de transmisión final multiplicará el torque del motor, así que el torque en las ruedas  $T_{ruedas}$  como se aplica en la ecuación 4.1 será:

$$T_{ruedas} = T_{motor} \times i \quad (4.1)$$

$$T_{ruedas} = 2000 Nm \times 4 = 8000 Nm$$

Este torque de 8000 Nm es el que se aplica a las ruedas motrices, permitiendo al camión mover cargas pesadas de manera eficiente.

Los ejes de transmisión son especialmente importantes en camiones debido a las siguientes razones:

- Capacidad de Carga: Permiten a los camiones mover grandes cargas con eficiencia, lo que es crucial para aplicaciones comerciales y logísticas.

- Durabilidad: Están diseñados para soportar las tensiones y fuerzas significativas que se generan durante la operación de vehículos pesados.
- Maniobrabilidad: En camiones articulados, los ejes de transmisión y las configuraciones de ejes múltiples permiten una mejor distribución del peso y una mayor maniobrabilidad.

## 4.2. Embrague y caja de transmisión

Las “marchas” o “velocidades” en una caja de cambios permiten regular la relación entre la velocidad del motor y la velocidad a la que giran las ruedas. Al cambiar de marcha, se ajusta la fuerza (torque) y la velocidad del vehículo, optimizando el rendimiento según la carga y el terreno.

Una de las características sorprendentes de los camiones es su capacidad para tener cajas de cambios con hasta 18 marchas, mientras que un automóvil típico suele tener seis marchas si es manual o hasta nueve en el caso de transmisiones automáticas modernas. ¿Por qué los camiones necesitan tantas marchas?

Los motores de camiones son más eficientes cuando operan dentro de un rango específico de revoluciones por minuto (RPM), generalmente entre 1000 y 1600 RPM, donde alcanzan su torque máximo. Las múltiples marchas permiten mantener el motor en este rango óptimo en diversas condiciones, mejorando así la eficiencia del combustible. Cambiar a la marcha adecuada evita que el motor trabaje demasiado o demasiado poco, lo que maximiza la eficiencia y reduce tanto el consumo de combustible como el desgaste del motor.

Mantener el control preciso de un vehículo de carga es crucial. Si un camión tuviera menos marchas, podría enfrentar problemas en situaciones como subir una colina, donde el motor necesita cambiar a una marcha más alta debido a la caída del torque a altas revoluciones. Sin embargo, al cambiar a una marcha superior, las RPM podrían caer por debajo de 1000, lo que resultaría en una pérdida de fuerza, una situación peligrosa para el motor y la transmisión (Fischer et al., 2015). La mayor cantidad de marchas permite que el motor permanezca en su rango óptimo incluso durante cambios de marcha, asegurando un control eficaz en ascensos y descensos. Además, facilita el uso del freno motor, esencial para mantener la seguridad y el control en situaciones de conducción exigentes. En

la Figura 4.3 se observa una caja de cambios de un camión real.

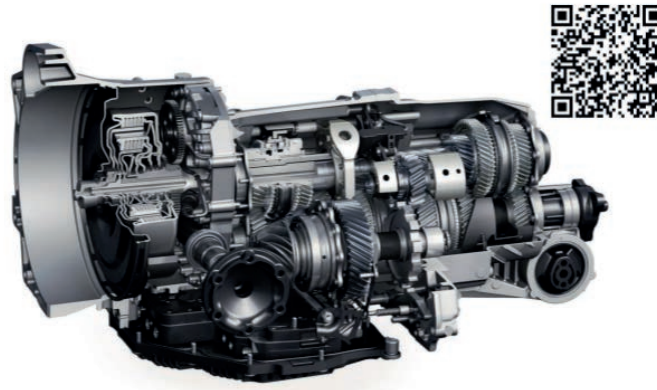


Figura 4.3: Caja de cambios

En otras palabras, cuanto más marchas tenga un camión, más preciso es el control que se puede tener sobre él, minimizando situaciones de pérdida de potencia y torque. Esta necesidad de más marchas exige una mayor pericia y concentración por parte del conductor.

Las transmisiones de los camiones son mucho más complejas que las de un automóvil normal. Están compuestas por una transmisión principal y una transmisión auxiliar. Por ejemplo, un camión puede tener una transmisión con cinco marchas principales y una transmisión auxiliar que las divide en tres submarchas, dando un total de 15 velocidades. Al añadir un divisor adicional, como una sobremarcha, el camión tendría tres marchas más, llegando a las 18 velocidades.

#### 4.2.1. Transmisiones en Camiones: Complejidad y Eficiencia

Las transmisiones de los camiones son significativamente más complejas que las de los automóviles convencionales. Compuestas por una transmisión principal y una transmisión auxiliar, estas configuraciones permiten una mayor versatilidad y control.

El propósito de las marchas en la transmisión es controlar la potencia del motor que llega a las ruedas. Cuando se cambia de marcha, se ajusta la relación entre el motor y las ruedas, afectando cuánto tiene que trabajar el motor para hacer que las ruedas giren. En marchas bajas, se obtiene mucho torque inicial pero poca velocidad, mientras que en marchas altas se obtiene mayor velocidad pero menos torque. Figura 4.4. Por ejemplo, al cambiar de cuarta a tercera marcha, la relación de transmisión

se incrementa, haciendo que las ruedas giren más lentamente, pero aumentando las revoluciones del motor y el torque transmitido a las ruedas, mejorando la capacidad de arrastre. Por el contrario, al cambiar de cuarta a quinta marcha, la relación de transmisión disminuye, permitiendo que las ruedas giren más rápido, reduciendo las revoluciones del motor y el consumo de combustible, ideal para mantener una velocidad constante en carreteras planas o autopistas (Store, 2021).

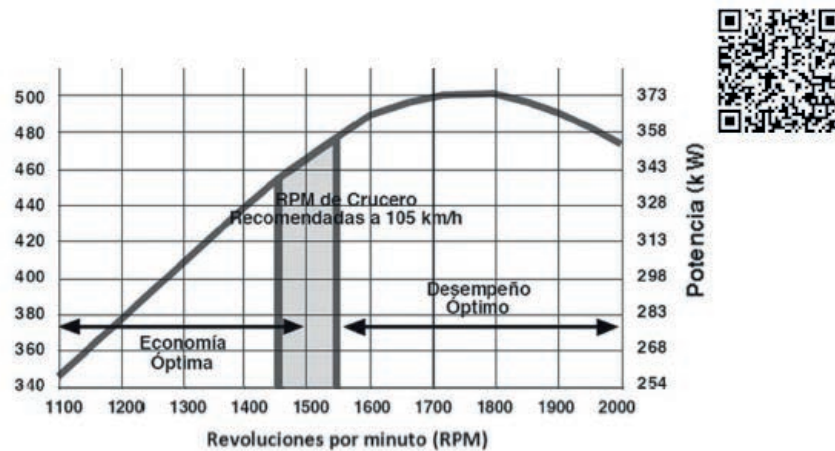


Figura 4.4: Grafico de representación del torque (Store, 2021)

Operar un camión con 18 marchas requiere una gran habilidad y concentración por parte del conductor. Aunque las transmisiones automáticas son más fáciles de manejar y reducen la barrera de entrada para nuevos conductores, permitiéndoles concentrarse más en la carretera y reduciendo la fatiga, presentan desafíos. Las transmisiones automáticas tienden a ser más costosas de fabricar y mantener, y pueden ser menos eficientes en términos de consumo de combustible en ciertas situaciones. Además, los conductores experimentados a menudo sienten que tienen menos control sobre el camión en condiciones extremas o terrenos difíciles.

Por otro lado, las transmisiones manuales, aunque más complejas de operar y físicamente exigentes (especialmente en condiciones de tráfico urbano intenso o en rutas montañosas con pendientes pronunciadas), permiten un control más directo sobre la dinámica del vehículo (Mizon & Tuck, 1991). Este control puede traducirse en una mejora significativa de la tracción y del manejo en terrenos difíciles o bajo condiciones climáticas adversas. Además, cuando son operadas de manera adecuada por conductores experimentados, las transmisiones manuales pueden ofrecer una mayor eficiencia en el consumo de combustible, particularmente en trayectos interurbanos o de larga distancia donde el

régimen de revoluciones puede ser optimizado manualmente.

No obstante, en la actualidad, uno de los principales retos asociados al uso de transmisiones manuales radica en la disponibilidad de operadores calificados. La tendencia generacional hacia la automatización, sumada a la complejidad inherente al aprendizaje de estas transmisiones, ha provocado una disminución progresiva en el número de conductores capacitados para operarlas con eficacia. Esta situación limita significativamente las opciones de contratación para las empresas de transporte, al tiempo que incrementa los costos de formación y adaptación del personal. En consecuencia, muchas flotas están optando por transmisiones automatizadas o automáticas como una solución para mitigar la dependencia de habilidades especializadas, sin comprometer del todo la eficiencia operativa en condiciones estándar.

### 4.2.2. Embragues

El embrague<sup>1</sup> es un componente esencial en los camiones pesados, encargado de conectar y desconectar el motor de la transmisión de manera controlada. Permite que el motor siga funcionando mientras se selecciona una marcha y suaviza la transferencia de potencia para evitar daños en la transmisión. Véase Figura 4.5 (Gómez, 2021).

- **Embragues Mecánicos:** Los primeros embragues eran puramente mecánicos, operados por un pedal que accionaba un sistema de cables o varillas. **Embragues Hidráulicos:** La introducción de sistemas hidráulicos mejoró la suavidad y precisión del accionamiento.
- **Embragues Automáticos:** Hoy en día, muchos camiones pesados utilizan embragues automáticos que funcionan electrónicamente, eliminando la necesidad de un pedal de embrague y mejorando la eficiencia del cambio de marchas.

### 4.2.3. Cajas de Cambios

Las cajas de cambios en los camiones pesados son sistemas complejos diseñados para gestionar la amplia gama de velocidades y cargas a las que estos vehículos están sujetos. Permiten adaptar la

---

<sup>1</sup>También se le conoce como Clutch.

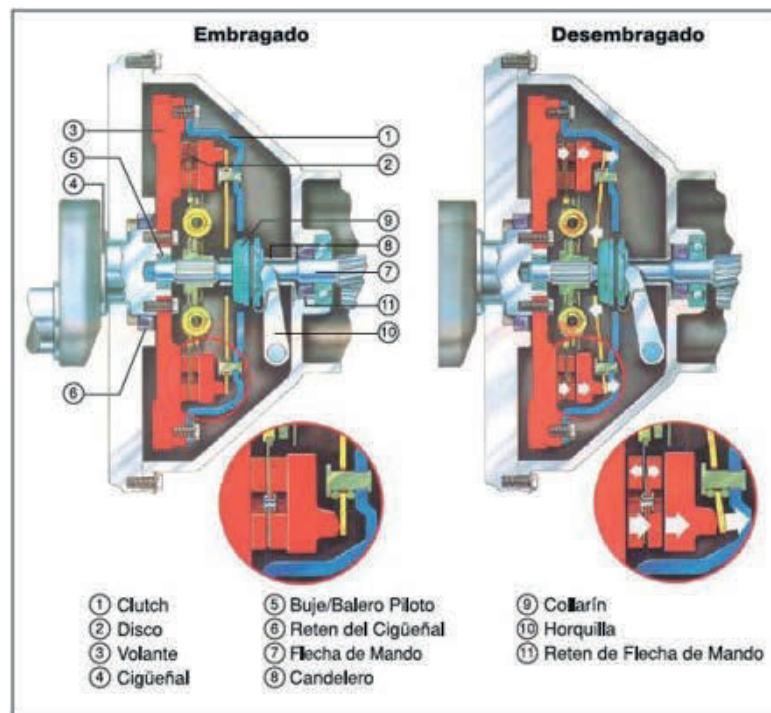


Figura 4.5: Partes del embrague (Gómez, 2021)

velocidad del motor a las necesidades de velocidad y fuerza del camión. En la siguiente Figura 4.6 se muestra el ejemplo de una caja de cambios manual.

- Cajas de Cambios Manuales: Inicialmente, las cajas de cambios eran totalmente manuales, requiriendo que el conductor seleccionara la marcha apropiada mediante un sistema de palancas.
- Cajas de Cambios Sincronizadas: La introducción de sincronizadores permitió cambios de marcha más suaves y rápidos, reduciendo la necesidad de habilidad del conductor para igualar las velocidades de los engranajes.
- Cajas de Cambios Automáticas: Con el tiempo, las transmisiones automáticas han ganado popularidad. Utilizan sistemas electrónicos y sensores para seleccionar la marcha adecuada automáticamente, mejorando la eficiencia y dando mayor comodidad al conductor.

Las cajas de cambios modernas en camiones pesados han evolucionado significativamente con la integración de tecnología avanzada (Automotriz & Automotriz, 2020a):

- Transmisiones Automatizadas (AMT): Combinan la eficiencia de las cajas manuales con la

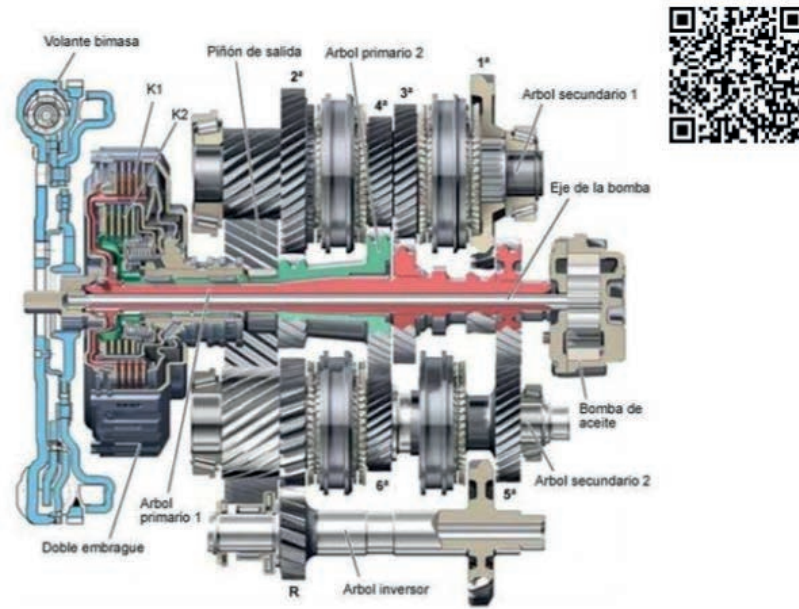


Figura 4.6: Caja de cambios manual (Aprende Institute, 2023)

comodidad de las automáticas, utilizando sistemas electrónicos para automatizar el cambio de marchas.

- Transmisiones Continuamente Variables (CVT): Aunque menos comunes en camiones pesados, estas permiten un rango infinito de relaciones de transmisión, optimizando la eficiencia del motor. Figura 4.7.
- Transmisiones de Doble Embrague (DCT): Proporcionan cambios de marcha extremadamente rápidos y suaves, mejorando tanto la eficiencia como la experiencia de conducción.

#### 4.2.4. Caja de Cambios Eaton Fuller

Hace tiempo, las primeras cajas de velocidades en camiones estaban divididas con diferentes palancas de velocidades para hacer cada cambio, eso complicaba la conducción y lo hacía peligroso, pero no había la tecnología para hacer más eficiente ese tipo de cajas (Morton, 1989). Una de esas cajas era la Kenworth W900 en la que se muestra el diagrama de cambios en la siguiente Figura 4.8. (Observe las tres palancas de velocidades y cómo se usan las dos manos para hacer la configuración de uno de los cambios). Posteriormente se fueron actualizando a las conocidas cajas derivadas en las cuales

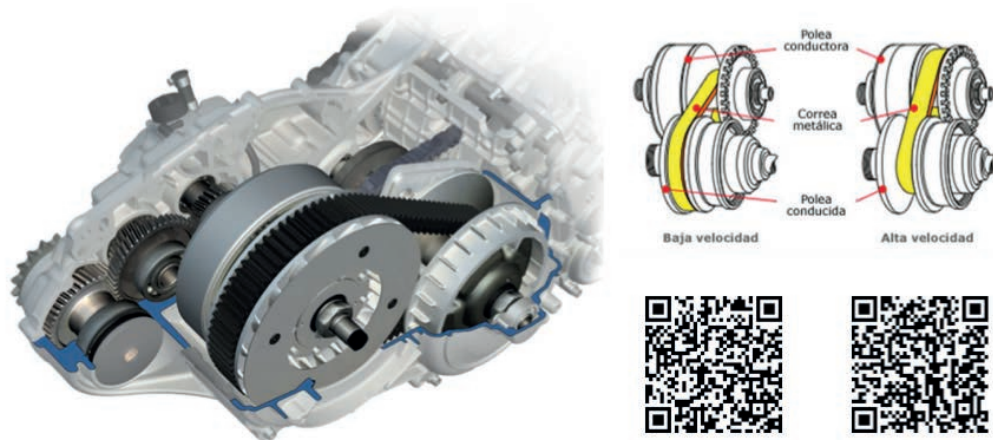


Figura 4.7: Caja de cambios CVT (Automotriz & Automotriz, 2020a)

con una sola palanca de cambios es posible realizar todas las secuencias, un ejemplo de esa caja es la Eaton Fuller. Figura 4.9.

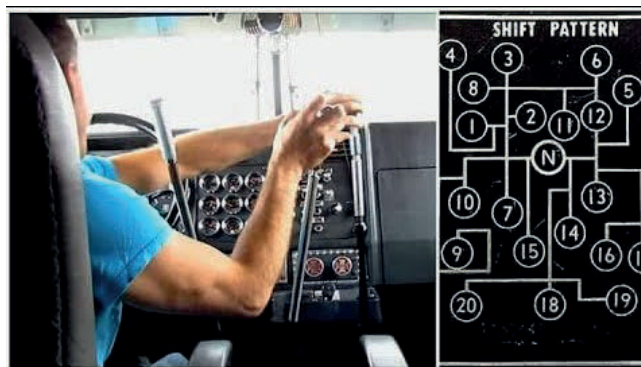


Figura 4.8: Diagrama de caja Kenworth W900 (Morton, 1989)

La caja de cambios Eaton Fuller de 18 velocidades es una transmisión manual avanzada que permite al conductor seleccionar entre 18 marchas diferentes para optimizar el rendimiento del motor y la eficiencia del combustible. Está diseñada principalmente para vehículos pesados, como camiones y tractocamiones. Su funcionamiento se basa en una combinación de dos secciones de cambio: una sección de rango y una sección de splitter (divisor).

- Sección de Rango: Esta parte de la transmisión permite cambiar entre un rango bajo y un rango alto de marchas. Generalmente, hay 9 marchas en el rango bajo y 9 en el rango alto.
- Sección de Splitter: El splitter divide cada marcha en dos sub-marchas, esencialmente duplicando el número total de marchas disponibles. Esto permite una selección más precisa de la

marcha adecuada para las condiciones de conducción.



Figura 4.9: Diagrama de caja Eaton Fuller (Seal et al., 2015)

A continuación, se presenta un diagrama simplificado que ilustra cómo funciona una caja de cambios Eaton Fuller de 18 velocidades. El diagrama muestra los pasos y los componentes clave involucrados en el cambio de marchas. Figura 4.10.

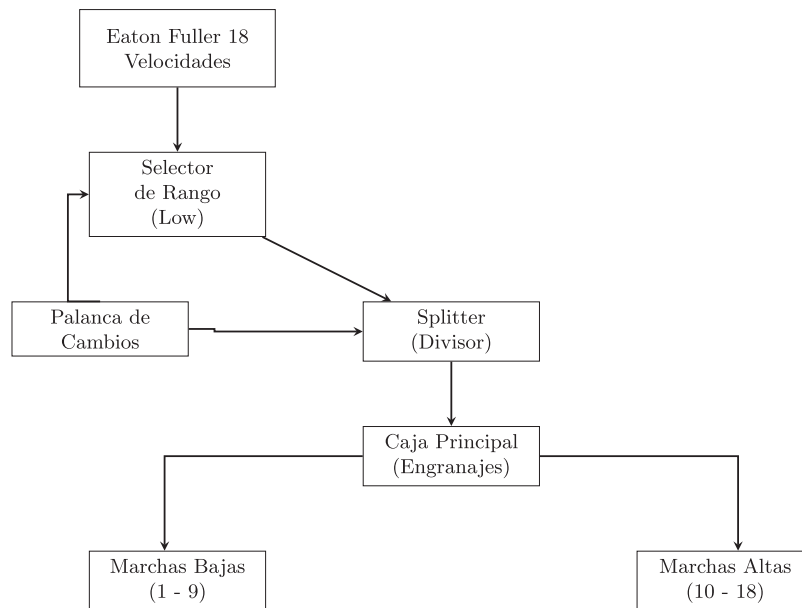


Figura 4.10: Diagrama de funcionamiento de la transmisión Eaton Fuller 18 velocidades.

#### 4.2.4.1. Explicación del funcionamiento

- **Palanca de Cambios:** Es utilizada por el conductor para seleccionar la marcha adecuada. La palanca de cambios tiene un rango de movimiento para seleccionar marchas y activar el splitter.

- Selector de Rango (Low/High): Permite al conductor cambiar entre el rango bajo (marchas 1-9) y el rango alto (marchas 10-18).
- Splitter (Divisor): Divide cada marcha en dos sub-marchas, proporcionando una mayor variedad de opciones de velocidad y torque. Se puede activar mediante un botón en la palanca de cambios.
- Marchas: Las diferentes posiciones de la palanca y el selector permiten al conductor elegir entre 18 marchas posibles, optimizando el rendimiento según la carga y las condiciones de la carretera.

### 4.3. Centro de gravedad y estabilidad



ISO  
21069

El centro de gravedad (CG) en los vehículos pesados es el punto en el que se concentra todo el peso del vehículo y sus componentes. Es esencialmente el punto promedio de la distribución de masa en el vehículo. El CG es una consideración crítica en el diseño y la operación de vehículos, ya que afecta la estabilidad, la maniobrabilidad y la seguridad (Organización Internacional de Normalización, 2024). La importancia de calcular el centro de gravedad en los vehículos pesados radica en varios aspectos (Lozano Guzmán & Hernández Jiménez, 1997):

- Estabilidad: El CG afecta directamente la estabilidad del vehículo. Un CG más bajo tiende a hacer que el vehículo sea más estable, mientras que un CG más alto puede aumentar el riesgo de volcadura, especialmente en curvas pronunciadas o maniobras repentinas.
- Maniobrabilidad: El CG también influye en la maniobrabilidad del vehículo. Un CG mal ubicado puede afectar la capacidad del conductor para controlar el vehículo de manera efectiva, especialmente en situaciones de emergencia o en terrenos difíciles.
- Distribución de carga: Conocer la ubicación del CG es crucial para una distribución adecuada de la carga en el vehículo. Una carga desequilibrada puede desplazar el CG y afectar negativamente la estabilidad y la maniobrabilidad.

Las principales técnicas de localización del centro de gravedad en los vehículos pesados incluyen:

- Métodos geométricos: Estos métodos implican medir y calcular las dimensiones físicas del vehículo y sus componentes para determinar la ubicación aproximada del CG.
- Métodos experimentales: Estos métodos utilizan pruebas prácticas, como pruebas de inclinación o pruebas de peso en cada esquina del vehículo, para determinar la ubicación precisa del CG.
- Software de simulación: Se utilizan programas de computadora especializados para modelar y simular el comportamiento del vehículo bajo diferentes condiciones de carga y operación, lo que permite calcular el CG de manera más precisa.

### 4.3.1. Localización del centro de gravedad

La localización del centro de gravedad es fundamental para calcular la adherencia en pendientes, la estabilidad lateral y longitudinal, así como para los cálculos de frenado y la distribución de carga en los ejes (Lozano Guzmán & Hernández Jiménez, 1997).

Para determinar su posición, es necesario conocer el peso total del vehículo y la carga sobre cada eje, lo cual se obtiene mediante un pesaje en báscula. A partir de estos datos, se calculan las diferencias de carga y se determinan las distancias  $a$  y  $b$ , como se muestra en la Tabla 4.1.

El centro de gravedad se ubica en la intersección de los planos definidos en las figuras, representando el punto donde se equilibra el peso del vehículo.

Con la siguiente fórmula 4.2 es posible calcular el momento con respecto a "B" al igual que con respecto a "D" con la fórmula 4.3.

$$P_a \cdot L = P \cdot b \quad (4.2)$$

$$b = \frac{P_a}{P} \cdot La = L - b$$

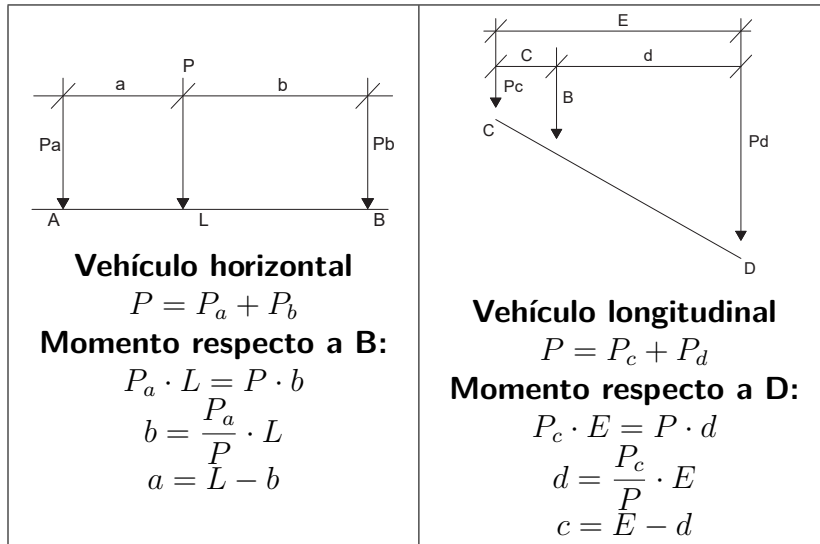


Tabla 4.1: Diagrama de localización

$$P_c \cdot E = P \cdot d \quad (4.3)$$

$$d = \frac{P_c}{P} \cdot E$$

$$c = E - d$$

Para calcular el Centro de gravedad (c.g.) sin la posibilidad de hacerlo o gráficamente lo podemos hacer mediante la ecuación 4.4:

$$h = \frac{P(R \tan(\alpha) + b) - P_c(a + b)}{P \tan(\alpha)} \quad (4.4)$$

Tomando el momento respecto al punto D; como se puede ver en la Figura 4.11

$$P_c(a + b) \cos(\alpha) = P(R \sin(\alpha) + b \cos(\alpha) - h \sin(\alpha)) \quad (4.5)$$

El valor de  $h$ , será la altura del centro de gravedad, y se obtiene conociendo  $a, b, \alpha$  (ángulo de inclinación), radio del neumático  $R$  y  $P_c$

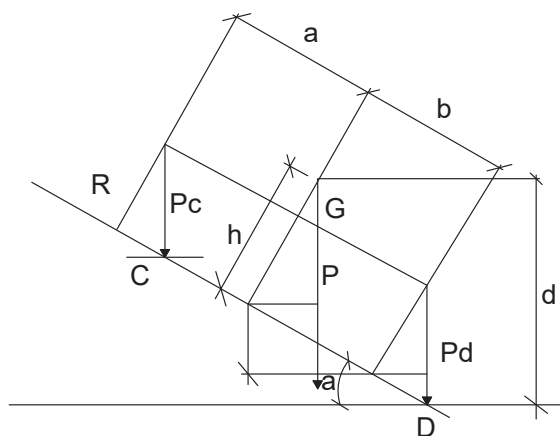


Figura 4.11: Esquema de proceso de localización de c.g.

## Ejemplo

Teniendo los siguientes datos. Determinar el centro de gravedad de un vehículo pesado.

Distancia entre ejes	4.5 metros	
Peso en chasis	$P = 9$ toneladas	
Pesos por ejes:		
Horizontal	$P_a = 5.5$ toneladas	$P_b = 3.5$ toneladas
Vertical	$P_c = 5$ toneladas	$P_d = 4$ toneladas
R	Radio de la llanta (rin)	20"
$\alpha$	Ángulo de inclinación	$30^\circ$
h	Altura del centro de gravedad	

$$b = \frac{5.5t}{9t} \cdot 4.5 m = 2.75 m \quad (4.6)$$

$$a = 1.75 m$$

$$\alpha = 30^\circ$$

Para este caso, se tiene una llanta de 20 pulgadas (R20)

$$R = 0.5 \text{ m}$$

$$\tan 30^\circ = 0.577$$

$$h = \frac{9(0.5 \cdot 0.576 + 2.75) - 5 \cdot 4.5}{9 \cdot 0.576} = 0.933 \text{ m}$$

De acuerdo a este resultado, se concluye que la altura del centro de gravedad se encuentra a 0.933 metros. En la siguiente figura 4.12 se muestra un diagrama obtenido de la página de *Truck Science* ([www.truckscience.com](http://www.truckscience.com)) en la que es posible obtener el centro de gravedad así como otros cálculos y especificaciones. En el anexo Volvo VNR 300, se puede ver a detalle el documento entregado por *Truck Science*.

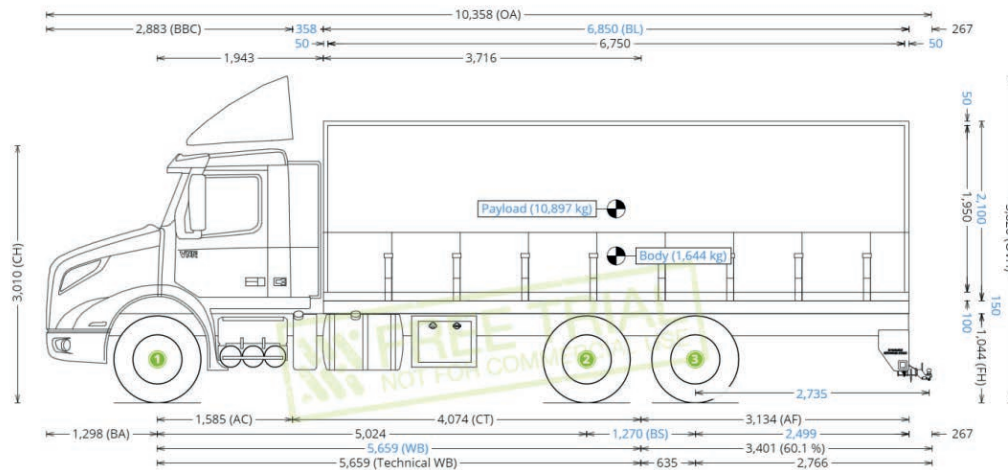


Figura 4.12: Esquema de *Truck Science* (TruckScience, 2024)

## 4.4. Cálculo de estabilidad lateral

La estabilidad lateral de un vehículo es la capacidad de mantener su trayectoria recta cuando se encuentra en movimiento, pero sometido a una fuerza lateral, como la que se produce al tomar una curva. Se trata de una característica importante para la seguridad, ya que evita que el vehículo se

salga de la carretera o se vuelque (Lozano Guzmán & Hernández Jiménez, 1997).

La estabilidad lateral está determinada por varios factores, entre los que se incluyen:

- **La geometría del vehículo:** Un vehículo con una distancia entre ejes larga y una vía ancha es más estable que uno con una distancia entre ejes corta y una vía estrecha.
- **La distribución del peso:** Un vehículo con un centro de gravedad bajo y un peso bien distribuido es más estable que uno con un centro de gravedad alto y un peso mal distribuido.
- **La suspensión:** Una suspensión bien diseñada ayuda a mantener el vehículo en su trayectoria recta al absorber las irregularidades de la carretera.
- **Los neumáticos:** Los neumáticos con buena tracción ayudan a mantener el vehículo en su trayectoria recta.

La pendiente máxima para que el vehículo no vuelque está dada por la siguiente ecuación 4.7 en base a la Figura 4.13. Básicamente, el diagrama ilustra la distribución de carga y cómo las reacciones en los ejes y el peso total afectan la ubicación del centro de gravedad, lo que es fundamental para la estabilidad del camión en diferentes condiciones.

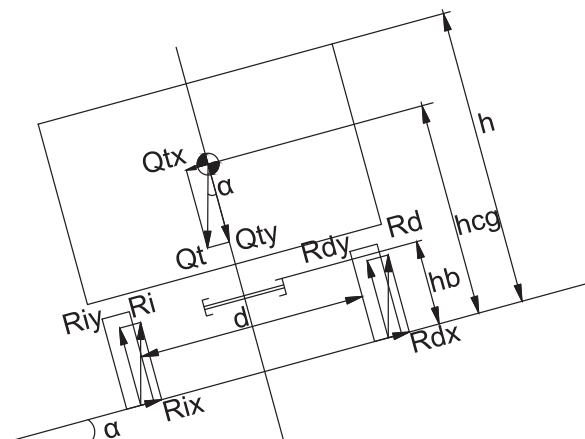


Figura 4.13: Estabilidad lateral (vista trasera del vehículo)

---

$Q_t$	Carga total aplicada en el sistema
$Q_{tx}$	Proyección de la carga en el eje horizontal
$Q_{ty}$	Proyección de la carga en el eje vertical
$R_{iy}$	Componente vertical izquierdo de reacción
$R_i$	Reacción en un apoyo del eje izquierdo del camión
$R_{dy}$	Componente vertical derecho de reacción
$R_d$	Reacción en un apoyo del eje derecho del camión
$R_{dx}$	Componente horizontal derecho de reacción
$hb$	Altura del suelo al bastidor
$hcg$ (Altura del centro de gravedad)	Desde el suelo hasta el centro de gravedad
$h$	Altura total del camión
$d$	Representar una separación entre ejes

---

$$\alpha = \arctan\left(\frac{d}{2 \cdot hcg}\right) \quad (4.7)$$

## 4.5. Cálculo de estabilidad longitudinal

La estabilidad longitudinal de un vehículo se refiere a su capacidad para mantener una trayectoria constante en términos de velocidad y dirección cuando se mueve en línea recta o cuando acelera y desacelera. Esta propiedad es esencial para la seguridad y el control del vehículo en carretera (Moreno et al., 2018). Una buena estabilidad longitudinal reduce la probabilidad de oscilaciones no deseadas, pérdidas de adherencia o comportamientos impredecibles durante maniobras como frenadas de emergencia, cambios de carga o descensos prolongados. Esta característica depende tanto del diseño estructural del vehículo (incluyendo la distribución del peso y la geometría del chasis) como del funcionamiento de los sistemas de suspensión, frenos y control electrónico de estabilidad.

La estabilidad longitudinal se ve influida por varios factores, incluidos:

- Distribución de la carga:** La manera en que se distribuye la carga en un vehículo, especialmente en un vehículo con carga pesada, puede afectar su estabilidad longitudinal. Una carga desequilibrada puede causar problemas de estabilidad al acelerar o frenar.

- **Diseño de suspensión:** La suspensión del vehículo juega un papel crucial en la estabilidad longitudinal. Un diseño de suspensión adecuado ayuda a mantener el contacto de las ruedas con la carretera durante aceleraciones y frenadas, mejorando así la estabilidad.
- **Sistemas de frenado:** Los sistemas de frenado efectivos son esenciales para la estabilidad longitudinal. Los frenos deben funcionar de manera equilibrada y permitir un control adecuado durante la frenada.
- **Control de tracción y estabilidad:** Los vehículos modernos suelen estar equipados con sistemas de control de tracción y estabilidad que ayudan a mantener la estabilidad longitudinal al evitar que las ruedas patinen o que el vehículo derrape durante aceleraciones o frenadas bruscas.
- **Neumáticos:** Los neumáticos desempeñan un papel fundamental en la estabilidad longitudinal. Deben estar en buen estado y tener la presión adecuada para proporcionar la tracción necesaria y ayudar a mantener la estabilidad.
- **Centro de gravedad:** El centro de gravedad del vehículo también es importante. Un centro de gravedad más bajo suele contribuir a una mejor estabilidad, ya que reduce el riesgo de vuelcos durante maniobras bruscas.

#### 4.5.1. Para superar la pendiente máxima

Conociendo el centro de gravedad se utiliza la siguiente fórmula 4.8 en base a la Figura 4.14.

- P Distancia entre el eje delantero y el trasero  
 s Distancia entre ejes Tandem

$$\alpha = \arctan\left(\frac{S}{hcg}\right) \quad (4.8)$$

#### Ejemplo:

Conociendo los siguientes datos, calcular la pendiente máxima que puede superar el vehículo.

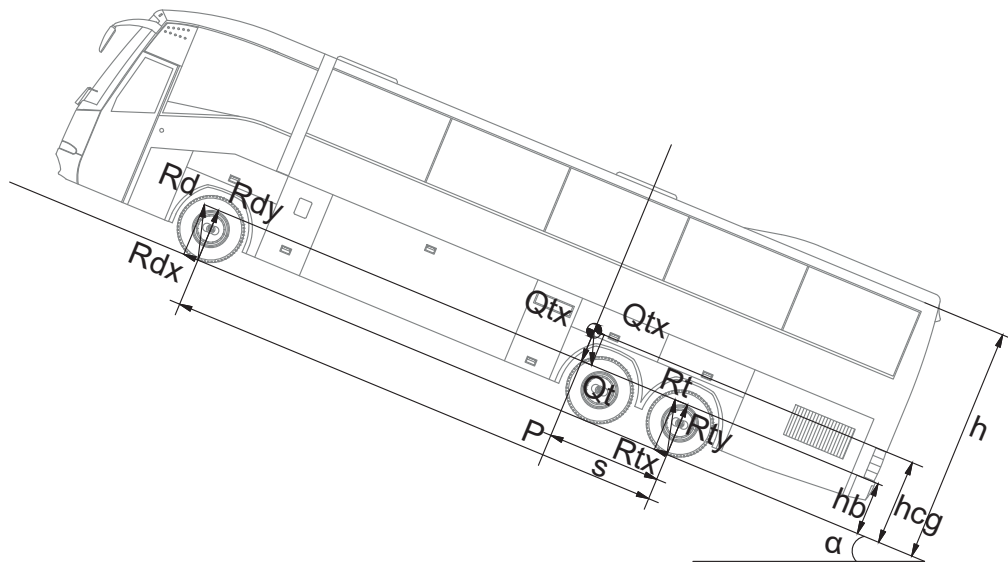


Figura 4.14: Estabilidad longitudinal (vista lateral del vehículo)

$hb = 600 \text{ mm}$	Anchura del suelo al bastidor en mm
$S = 1000 \text{ mm}$	Distancia del c.d.g al eje trasero
$h = 2800 \text{ mm}$	Altura total del vehículo (h)
$d = 1100 \text{ mm}$	Ancho de vías menos en mm
$MMA = 5040 \text{ kg}$	MMA
$Tara = 1590 \text{ kg}$	Tara
$Q_{util} = 3450 \text{ kg}$	Q.útil
Altura del c.d.g (hcg)	4.9
Altura del c.d.g de la carga útil (hcu)	4.10

$$h_{cg} = \frac{hb \cdot Tara + h_{cu} \cdot Q_{util}}{MMA} \quad (4.9)$$

$$h_{cu} = hb + \frac{h - hb}{2} \quad (4.10)$$

$$h_{cu} = 600 + \frac{2800 - 600}{2} = 1700$$

$$h_{cg} = \frac{600 \cdot 1590 + 1700 \cdot 3450}{5040} = 1352.9$$

$$\alpha = \arctan \frac{1100}{2 \cdot 1352.9} = \boxed{22.15^\circ}$$

## 4.6. Cálculos de resistencias al movimiento vehicular

En la dinámica de vehículos, existen cuatro resistencias que se oponen al avance de un vehículo. Pueden existir independientes o coexistir al mismo tiempo (Dietsche, 2005). En la Figura 4.15 se muestra el ejemplo de un reparto de pesos por eje, indispensable debido a que es crucial para la estabilidad, manejo y seguridad del vehículo. Una distribución adecuada del peso entre los ejes afecta directamente la tracción, la frenada, y la maniobrabilidad del camión. Un desequilibrio en esta distribución puede provocar sobrecarga en algunos ejes, afectando la durabilidad de los neumáticos y los componentes de la suspensión, además de incrementar el riesgo de vuelco y pérdida de control (Rafael & Zavala, 1999).

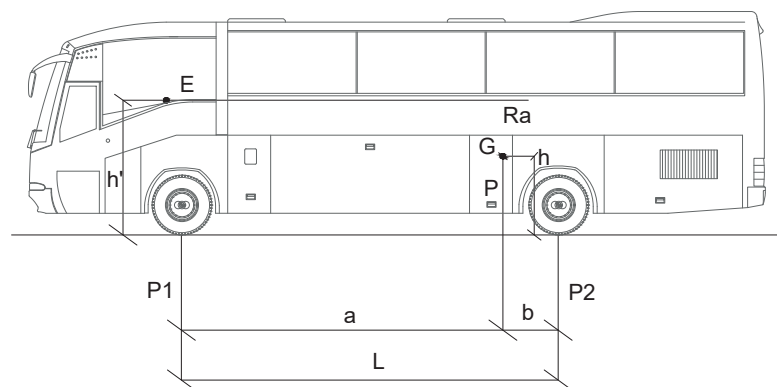


Figura 4.15: Reparto de pesos por ejes

1. **Resistencia aerodinámica** ( $R_a$ ): Esta es la resistencia que el vehículo experimenta debido al flujo de aire a medida que se mueve a través del mismo. Cuanto más rápido viaja un vehículo, mayor es la resistencia aerodinámica. Esta resistencia puede ser especialmente significativa en vehículos a alta velocidad, como automóviles y camiones de carga.
2. **Resistencia de rodadura** ( $R_r$ ): La resistencia de rodadura se debe a la fricción entre las ruedas del vehículo y la superficie de la carretera. Esta resistencia depende de factores como el estado de los neumáticos, la calidad de la superficie de la carretera y la carga del vehículo. En general, cuanto más pesado sea el vehículo y peor sea la calidad de la superficie de la carretera, mayor será la resistencia de rodadura.
3. **Resistencia de pendiente** ( $R_p$ ): Esta resistencia se produce cuando un vehículo se desplaza cuesta arriba o cuesta abajo. La gravedad actúa en contra del avance del vehículo cuesta arriba, lo que requiere más energía para superar la pendiente. Cuando se desplaza cuesta abajo, la resistencia de pendiente puede reducirse, pero se debe tener cuidado para evitar la velocidad excesiva.
4. **Resistencia inercial** ( $R_j$ ): La resistencia inercial es la resistencia debida a la necesidad de acelerar o desacelerar el vehículo. Cuando un vehículo acelera, se necesita energía para superar la resistencia inercial, y cuando se frena, esta energía se disipa en forma de calor a través del sistema de frenado.

Estas resistencias influyen en el consumo de combustible, la eficiencia y el rendimiento de un vehículo. Los fabricantes de automóviles diseñan vehículos y sistemas de propulsión para minimizar estas resistencias y optimizar la eficiencia en términos de consumo de combustible y rendimiento. También es importante para los conductores tener en cuenta estas resistencias al planificar su conducción y tomar decisiones que contribuyan a un manejo más eficiente y seguro del vehículo.

#### 4.6.1. Resistencia por rodadura ( $R_r$ )

Sabiendo que la resistencia se origina por la deformación del neumático en el suelo, es importante mencionar que cuando el neumático está inflado a la presión indicada por el fabricante, se tiene una

resistencia esperada de manera correcta,, sin embargo, si el neumático se infla a mayor presión, esto puede ocasionar que se tenga menor superficie de contacto y por lo mismo menos resistencia, pero aunque pareciera algo favorable, no lo es del todo, ya que de esa forma se tiene menos adherencia con el asfalto y eso puede ocasionar un efecto negativo en la frenada, así como que la rueda bote y se pierda estabilidad(Alcázar-Vargas et al., 2021). Por el lado contrario, si el neumático no está inflado lo suficiente se tendrá un exceso de adherencia y por lo tanto mayor resistencia, lo que por un lado podría ser favorable en situaciones en que el vehículo necesita mayor adherencia, pero esto ocasiona que la resistencia a la rodadura aumente y por consiguiente se consuma más combustible para intentar superar esa resistencia (Piro, 2012). En ocasiones en las que el neumático está inflado de manera correcta pero el peso del vehículo supera las especificaciones técnicas de carga ya antes mencionadas en la Tabla 1.3, se puede llegar a un efecto en el neumático en el que la parte inferior que toca el asfalto se hincha, ocasionando altas probabilidades de que el neumático pueda reventar y más si las ruedas están en doble rodado o en Yoyo.

#### 4.6.1.1. Rueda portante

Se le conoce como Rueda portante a aquella que está desprovista de tracción, por lo tanto está siempre acoplada a un eje portador. Para una rueda portadora se tiene el siguiente diagrama 4.16.

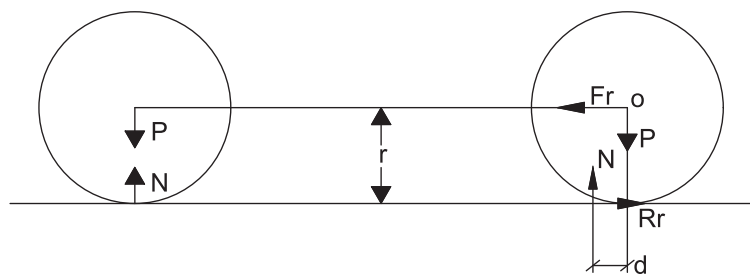


Figura 4.16: Diagrama de resistencia en rueda portadora

Tomando en cuenta a  $d$  como el avance, la distancia por rodamiento, podemos ver que la fuerza de rodadura  $F_r$  vence a la resistencia por rodadura  $R_r$ . Para que  $F_r$ ,  $R_r$ , y las fuerzas verticales  $P$  y  $N$  estén en equilibrio, la resultante de  $N$  y  $R_r$  ha de ser igual y opuesta a  $F_r$  y  $P$ .

**Momentos respecto al centro de rodadura “o”**

$$N \cdot d = R_r \cdot r; = R_r = N \cdot \frac{d}{r} = P \cdot \frac{d}{r}$$

El fabricante es el que determina  $r$  y  $d$  para una carga  $p$  específica.

**4.6.1.2. Rueda motriz**

Se le conoce como rueda motriz a aquella que está provista de tracción, por lo tanto está siempre acoplada a un eje motriz. Para una rueda motriz se tiene el siguiente diagrama 4.17.

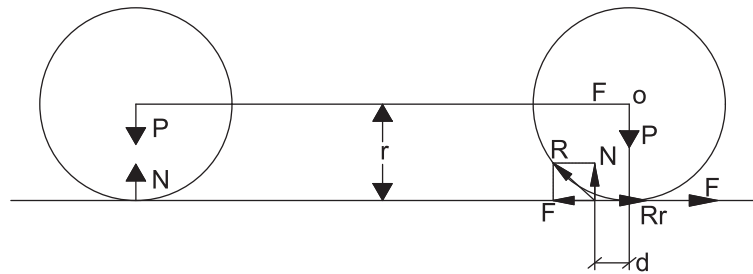


Figura 4.17: Diagrama de resistencia en rueda motriz

De acuerdo al diagrama anterior podemos observar que se obtiene otra fuerza aparte de  $P$  y  $N$  en el eje.  $F = R_a + R_r + R_p + R_j$

**Momentos respecto al centro de rodadura “o”**

$$(F \cdot R_r) \cdot r + N \cdot d = F \cdot r \text{ Dado que } N = P \quad R_r = \frac{d}{r} \cdot P$$

Esto sería igual para todas las ruedas portadoras.

**Coefficiente de resistencia por rodadura indicado por  $f$  en la ecuación 4.11**

$$f = \frac{d}{r} = \tan \Phi \quad (4.11)$$

$f$  no es constante ni independiente de la velocidad. Influye la temperatura, suelo, inflado de neumáticos (presión).

En la siguiente Tabla 4.2 se muestran los valores del coeficiente por rodadura con la resistencia  $f$ .

La cual es comúnmente considerada como 15 kg por tonelada para los cálculos.

$$R_r(kg) = 15 P(T)$$

Tabla 4.2: Tabla de coeficiente  $f$

Tipo de suelo	Coef. Rodadura $\frac{kg}{T}$ (Resistencia $f$ )
Asfalto	12/17 ~0.12/0.17 - 0.013/0.018
Hormigón	15 ~0.15 - 0.016
Adoquinado	55 ~ 0.055 - 0.0600
Tierra compacta	50 ~ 0.050 - 0.055
Tierra suelta	100 ~ 0.100 - 0.110

Existe una frontera que se encuentra a los 80km/h en vehículos pesados, que representa la superación de la  $R_r$  y es mayor a la  $R_a$  hasta esta velocidad. De igual manera se debe considerar cuando el vehículo gira  $f$  se incrementa por la fuerza del radio de giro y coeficiente de fricción lateral, sin embargo no influirá en los cálculos. Considerar que el coeficiente  $f$  es un tanto mayor cuanto menor es el radio de la rueda y mayor la deformación que sufre el neumático. Aumenta con la carga, velocidad y menor presión. Con la siguiente fórmula 4.12 también es posible obtener la resistencia por rodadura.

$$F_r = f \cdot G = f \cdot m \cdot g \quad (4.12)$$

---

$F_{ro}$  Resistencia a la rodadura (N)

$f$  Coeficiente de resistencia por rodadura

Cuando:  $G$  Fuerza del peso  $m \cdot g$  (N)

$m$  Peso de vehículo (kg)

$g$  Aceleración de la gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )

---

### 4.6.2. Resistencia por pendiente ( $R_p$ )

La resistencia por pendiente, también conocida como resistencia gravitatoria, se refiere a la fuerza que se opone al avance de un vehículo cuando este se desplaza cuesta arriba o cuesta abajo en una pendiente. Esta resistencia es el resultado de la influencia de la gravedad en el movimiento del vehículo y depende de la inclinación de la pendiente, la masa del vehículo y otros factores (Fabela Gallegos et al., 2019).

Cuando un vehículo sube una pendiente, la resistencia por pendiente actúa en contra de su movimiento, lo que significa que el vehículo debe gastar más energía para vencer esta resistencia y avanzar cuesta arriba. Por otro lado, cuando un vehículo desciende por una pendiente, la resistencia por pendiente puede reducir la necesidad de aplicar el acelerador o el freno, ya que la gravedad ayuda al vehículo a avanzar cuesta abajo (Morales Mercedes, 1999).

La magnitud de la resistencia por pendiente depende de varios factores, como:

- **Ángulo de la pendiente:** Cuanto más empinada sea la pendiente, mayor será la resistencia que enfrentará el vehículo.
- **Masa del vehículo:** Un vehículo más pesado experimentará una resistencia por pendiente más significativa al subir o bajar una pendiente.
- **Coeficiente de fricción:** La resistencia también se ve influenciada por la calidad de la carretera y la fricción entre los neumáticos y la superficie de la carretera.
- **Velocidad del vehículo:** La velocidad a la que se desplaza el vehículo en la pendiente también afecta la resistencia.

La resistencia por pendiente es un factor importante a considerar para el consumo de combustible y el rendimiento de un vehículo, especialmente en áreas montañosas o con terreno accidentado. Los conductores deben adaptar su estilo de conducción al enfrentar pendientes, utilizando la transmisión adecuada, evitando frenadas bruscas cuesta abajo y manteniendo una velocidad segura y eficiente (Echaveguren et al., 2015). La fórmula 4.13 que se refiere a esta condición está dada por:

$$R_p = P \cdot \sin \alpha \quad (4.13)$$

El diagrama 4.18 muestra lo expresado en la formula 4.13.

La pendiente se expresa en  $x$  metros de subida vertical por cada 100 metros recorridos horizontal y está determinada por la ecuación 4.14.

$$R_p = P \cdot \frac{x}{100} \quad (4.14)$$

Cuando  $P$  se expresa en toneladas y  $R_p$  en kilogramos se usa la siguiente ecuación 4.15

$$R_p = 1000 \cdot P \cdot \frac{x}{100} \quad (4.15)$$

$$R_p = 10 \cdot P \cdot x$$

#### 4.6.2.1. Determinación de porcentaje de una pendiente

La siguiente Figura 4.18 muestra cómo se establece el porcentaje de una pendiente A-B. Y con la siguiente formula 4.16 se puede obtener dicho porcentaje, conociendo la distancia recorrida y la diferencia de nivel en metros.

$$\% = h \frac{100}{r} \quad (4.16)$$

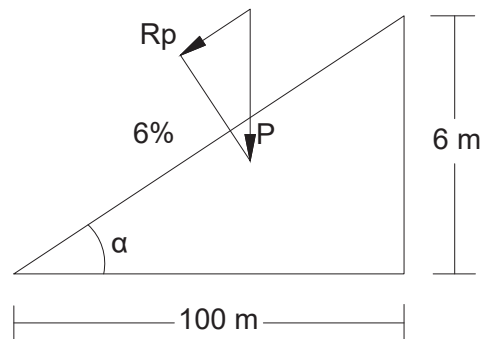


Figura 4.18: Diagrama de resistencia y determinación de una pendiente

### 4.6.3. Resistencia a la inercia ( $R_j$ )

La resistencia por inercia, a menudo llamada resistencia inercial, se refiere a la fuerza que se opone al cambio en el estado de movimiento de un objeto. Esta resistencia ocurre cuando un objeto en movimiento intenta cambiar su velocidad o dirección. En el contexto de la dinámica de un vehículo, la resistencia por inercia se manifiesta cuando el vehículo debe acelerar, desacelerar o cambiar de dirección (Dietsche, 2005).

La resistencia por inercia puede tener varias causas:

- **Aceleración:** Cuando un vehículo está en reposo o viaja a una velocidad constante y el conductor intenta acelerar, la resistencia por inercia se opone al cambio en la velocidad. Esto requiere que el motor del vehículo genere más potencia para vencer la resistencia y acelerar el vehículo.
- **Desaceleración o frenado:** Cuando el conductor intenta frenar o reducir la velocidad del vehículo, la resistencia por inercia actúa en la dirección opuesta. Esto significa que el vehículo continuará avanzando debido a su inercia, y el sistema de frenado debe aplicar suficiente fuerza para contrarrestar esta resistencia y detener el vehículo.
- **Cambios de dirección:** Al girar o cambiar de dirección, la resistencia por inercia se manifiesta como una oposición al cambio en la dirección del vehículo. Esto requiere que las ruedas, la suspensión y otros componentes del vehículo trabajen para cambiar la trayectoria.

La resistencia por inercia se relaciona con la tendencia de los objetos en movimiento a mantener su estado de movimiento y a oponerse a los cambios en su velocidad o dirección. Con la fórmula 4.17

$$R_j = M \cdot j = \frac{P \cdot j}{g} \quad (4.17)$$

---

$M$	Masa del vehículo
$j$	Aceleración a adquirir
$V_1$	Velocidad inicial
Donde: $V_2$	Velocidad final
$t$	Tiempo invertido para pasar de $V_1$ a $V_2$
$P$	Peso en toneladas
$g$	Fuerza de gravedad $10 \frac{m}{s^2}$ para simplificar cálculos

---

Para el cálculo de la aceleración se utiliza la ecuación 4.18

$$j = \frac{(V_2 - V_1)}{t} \quad (4.18)$$

Cuando el peso está expresado en toneladas se pueden utilizar las siguientes fórmulas en Kilogramos 4.19:

$$R_j = \frac{1000 \cdot P \cdot j}{10} \quad (4.19)$$

$$R_j = 100 \cdot P \cdot j$$

#### 4.6.4. Resistencia aerodinámica ( $R_a$ )

La resistencia aerodinámica, a menudo simplemente llamada “resistencia al aire”, es una fuerza que se opone al movimiento de un objeto a través del aire. Esta resistencia se debe a la fricción y la presión ejercida por el aire sobre la superficie del objeto en movimiento. La magnitud de la resistencia aerodinámica depende de varios factores, incluyendo la forma del objeto, la velocidad a la que se mueve y la densidad del aire (Fraija, 2006).

En el contexto de los vehículos, como automóviles, camiones y aviones, la resistencia aerodinámica es un factor importante a considerar. A medida que un vehículo se desplaza a mayor velocidad, la

resistencia aerodinámica se vuelve más significativa y puede afectar la eficiencia y el consumo de combustible. Algunos aspectos clave de la resistencia aerodinámica en vehículos incluyen:

- **Forma del vehículo:** La forma del vehículo desempeña un papel crucial en la resistencia aerodinámica. Los vehículos diseñados con una forma más aerodinámica, como automóviles deportivos o vehículos eléctricos, experimentarán menos resistencia al aire que los vehículos con formas menos aerodinámicas, como camiones de carga o vehículos todo terreno.
- **Velocidad:** La resistencia aerodinámica aumenta significativamente con la velocidad. A medida que un vehículo acelera, la resistencia al aire se vuelve más pronunciada y requiere más energía para superarla.
- **Densidad del aire:** La densidad del aire también afecta la resistencia aerodinámica. A mayor altitud, donde la densidad del aire es menor, la resistencia al aire es menos significativa.

La reducción de la resistencia aerodinámica es un objetivo clave en el diseño de vehículos, ya que ayuda a mejorar la eficiencia y el rendimiento. Esto incluye características como la forma del vehículo, la ubicación de los espejos retrovisores, la calidad de los sellos y juntas alrededor de las ventanas, y otros detalles de diseño que minimizan la fricción del aire. Los fabricantes de automóviles y camiones trabajan en el diseño de vehículos más aerodinámicos para reducir el consumo de combustible y las emisiones, al tiempo que mejoran la velocidad y la eficiencia en carretera (García Martín, 2010).

Sin duda, esta es la resistencia más estudiada, y no sólo por la importancia, si no por la relación con la estética. Con el paso de los años esto se ha vuelto cada vez más importante en el mundo del automovilismo, y los camiones no se quedan atrás. Hace ya varios años, todo lo relacionado con la aerodinámica no era de mucha importancia, al grado de que se popularizó una frase famosa del mismo Enzo Ferrari, el cual dijo “La aerodinámica es para fracasados que no saben hacer motores”. Hoy en día se ha avanzado mucho en los cálculos y el diseño de los vehículos para mejorar su eficiencia para superar la resistencia aerodinámica, algo indispensable en los vehículos híbridos y eléctricos. Con formulas empíricas que se han obtenido con la ayuda de innumerables ensayos en túneles de viento (Figura 4.19) (Redazione, 2024), se pueden calcular los valores de  $R_a$  y  $K$  como se ve a continuación 4.20.



Figura 4.19: Ensayo en túnel de viento  
(Redazione, 2024)

Valor de  $R_a$

$$R_a = K \cdot S \cdot V^2 \quad (4.20)$$

$$K = \delta \frac{c}{2g}$$

---

$\delta$	Peso específico del aire en condiciones normales ( $\frac{Kg}{m^3}$ )
$c$	Constante aerodinámica
$V$	Velocidad en $\frac{m}{s}$ (relativa al aire)
Donde: $R_a$	en Kg
$K$	Coeficiente de resistencia del aire
$S$	Superficie frontal de vehículo

---

En el caso de la constante  $c$  esta puede variar de 0.15 en turismos (también conocido como coche o automóvil) hasta 1.5 en camiones. Esta constante es obtenida en pruebas de túnel de viento. Para

los turismos se puede considerar dependiendo del diseño entre 0.25 y 0.7. Y en camiones se puede considerar entre 1 y 1.5. Si el camión incluye Deflector (Véase figura 4.20) se manejará un valor de 1, ya que dicho Deflector reduce la resistencia aerodinámica considerablemente (Dietsche, 2005).



Figura 4.20: Deflector de camiones  
(Blackwolf México, 2023)

La superficie  $S$  es aproximada, multiplicando el ancho por el alto del vehículo visto de frente, afectado por una constante de 0.8. A esto se le conoce como superficie maestra y se obtiene con la siguiente fórmula 4.21 en  $m^2$ .

$$S = 0.8 \cdot a \cdot h \quad (4.21)$$

#### 4.6.5. Cálculo aproximado de $K$ y $f$

##### 4.6.5.1. Coeficiente de resistencia aerodinámica

El coeficiente de resistencia aerodinámica, abreviado como " $K$ ", es un valor que se utiliza para cuantificar la resistencia al aire que experimenta un objeto en movimiento a través de un fluido, como el aire. Este coeficiente se utiliza en la fórmula que calcula la resistencia aerodinámica en función de la forma y la exposición del objeto al flujo de aire. Es un número adimensional que refleja la eficiencia aerodinámica de un objeto (Dietsche, 2005). Cuanto menor sea el valor de  $K$ , menos resistencia aerodinámica experimentará el objeto. Un valor de  $K$  de 0 indicaría que el objeto es completamente aerodinámico y no experimenta resistencia al aire, lo cual es ideal para la eficiencia

aerodinámica (Bardera Mora, 2006).

Esta constante depende de la forma y la geometría del objeto. Los ingenieros utilizan pruebas en túneles de viento y análisis computacionales para determinar el valor de este coeficiente para objetos específicos, como automóviles, camiones, aviones y otros vehículos. El diseño de objetos y vehículos busca minimizar este coeficiente para reducir la resistencia al aire y mejorar la eficiencia energética (García Martín, 2010). En el caso de los automóviles, el coeficiente de resistencia aerodinámica es una consideración crítica para lograr una mayor eficiencia de combustible y un menor consumo de energía. Las formas más aerodinámicas, como las que se encuentran en los vehículos eléctricos e híbridos, llegan a tener los valores de  $K$  más bajos y, por lo tanto, experimentar menos resistencia al aire al viajar a velocidades elevadas, lo que resulta en un mejor rendimiento y economía de combustible, en este caso, de baterías.

#### 4.6.5.2. Coeficiente de resistencia por rodadura

El coeficiente de resistencia a la rodadura, a menudo abreviado como " $f''$ ", es un valor que se utiliza para cuantificar la resistencia que se opone al movimiento de un objeto, como un vehículo, cuando está en contacto con una superficie rodante, como una carretera. Este coeficiente refleja la fricción entre los neumáticos del vehículo y la superficie de la carretera (Pérez Gálvez et al., 2017).

El valor del coeficiente de resistencia a la rodadura varía según varios factores, incluyendo:

- **Neumáticos:** El tipo de neumáticos utilizados en el vehículo es un factor importante. Los neumáticos con una banda de rodadura más suave y más blanda generalmente tienen un coeficiente de resistencia a la rodadura más bajo, lo que reduce la fricción con la carretera.
- **Calidad de la carretera:** La rugosidad y la calidad de la superficie de la carretera también afectan el coeficiente de resistencia a la rodadura. Carreteras ásperas o en mal estado pueden aumentar la fricción y, por lo tanto, el coeficiente de resistencia a la rodadura.
- **Presión de los neumáticos:** La presión de inflado de los neumáticos es un factor crítico. Neumáticos con una presión adecuada generan menos fricción y, por lo tanto, tienen un coeficiente de resistencia a la rodadura más bajo que los neumáticos subinflados.

- **Carga del vehículo:** La carga del vehículo también afecta el coeficiente de resistencia a la rodadura. Cuanto más pesado sea el vehículo y su carga, mayor será el coeficiente de resistencia a la rodadura.

El coeficiente de resistencia a la rodadura se utiliza en las ecuaciones que calculan la fuerza de resistencia a la rodadura, que es una de las fuerzas que deben vencerse para que un vehículo se mueva. Reducir esta resistencia es importante para mejorar la eficiencia en el consumo de combustible y la economía de energía en vehículos. Las estrategias para reducir la resistencia a la rodadura incluyen el uso de neumáticos adecuadamente inflados, neumáticos con una menor resistencia a la rodadura y el diseño de carreteras más suaves y bien mantenidas (Alcázar-Vargas et al., 2021).

Las siguientes fórmulas 4.22 y 4.23 determinan las resistencias aerodinámica y por rodadura respectivamente.

$$K = \frac{4 \cdot M(j - j')}{S[(V_1 + V_2)^2 - (V'_1 + V'_2)^2]} \quad (4.22)$$

$$f = \frac{M \cdot j - K \cdot S \left( \frac{V_1 + V_2}{2} \right)^2}{M \cdot g} \quad (4.23)$$

---

$S$       Sección o superficie maestra

$M$       Masa del vehículo

Donde:  $j$  y  $j'$       Desaceleraciones

$V_2 < V_1$       Alta velocidad

$V'_2 < V'_1$       Baja velocidad

---

### 4.6.6. Ejemplo de cálculo con vehículo pesado

Considerando los siguientes datos:

18 T      Peso del vehículo

8 m<sup>2</sup>      Superficie maestra

V<sub>1</sub> =      100  $\frac{km}{h}$  → 27.7  $\frac{m}{s}$

V<sub>2</sub> =      80  $\frac{km}{h}$  → 22.2  $\frac{m}{s}$

V'<sub>1</sub> =      25  $\frac{km}{h}$  → 6.9  $\frac{m}{s}$

V'<sub>2</sub> =      15  $\frac{km}{h}$  → 4.1  $\frac{m}{s}$

t<sub>1</sub> = 10 s    t' = 15 s

### Solución

$$j = \frac{22.7 - 22.2}{10} = 0.55 \frac{m}{s^2}$$

$$j' = \frac{6.9 - 4.1}{15} = 0.28 \frac{m}{s^2}$$

$$K = \frac{4 \cdot \frac{18 \cdot 10^3}{10} (0.55 - 0.28)}{8(49.9^2 - 11^2)} = \boxed{0.10}$$

Para  $\delta$  (densidad) se debe considerar el peso específico del aire, 1 atmósfera de presión con 60% de humedad y 15°C en 1m<sup>3</sup> de aire con la ecuación 4.24.

$$1.2 \frac{kg}{m^3} \tag{4.24}$$

Para el cálculo de la contante “c” con la ecuación 4.25 y “K” 4.26.

$$c = \frac{K \cdot 2g}{\delta} \quad (4.25)$$

$$K = \delta \cdot \frac{C}{2g} \quad (4.26)$$

$$f = \frac{\frac{18 \cdot 10^3}{10} \cdot 0.55 - 0.10 \cdot 8 \left(\frac{49.9}{2}\right)^2}{\frac{18 \cdot 10^3}{10} \cdot 10} = \boxed{0.027}$$

Con  $f$  y  $K$  puede calcularse la potencia consumida por  $R_r$  y  $R_a$  y por consecuencia la potencia perdida por rozamiento en la transmisión.

### Potencia perdida por rozamiento

Hay que considerar que las resistencias se expresan en kilogramos en el contexto de la dinámica vehicular para facilitar la comparación y cálculo de fuerzas en términos de peso, porque facilita la integración de todas las fuerzas resistivas y permite una comprensión más intuitiva, especialmente en cálculos prácticos y en la evaluación de la eficiencia del vehículo en diferentes condiciones operativas.

---

Para 75 y 110  $\frac{km}{h}$

$$75 \frac{km}{h} \rightarrow 20.83 \frac{m}{s}$$


---

$$R_a = K \cdot S \cdot V_2$$

$$R_a = 0.10 \cdot 8 \cdot 20.83^2 = 347.11 \text{ kg}$$

$$R_r = f \cdot P$$

$$R_r = 27 \cdot 18 = 486 \text{ kg}$$

### Potencia consumida por resistencias

El cálculo de la potencia consumida se realiza con las siguientes fórmulas 4.27, 4.28. potencia consumida por rodadura y aerodinámica respectivamente. Sólo se debe tomar en cuenta que deben hacerse algunas conversiones para obtener el resultado deseado.

$$W_r = \frac{R_r(\text{kg}) \cdot V\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)}{75\left(\frac{\text{kgm}}{\text{s}}\right) \cdot 3.6\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)} \quad (4.27)$$

$$W_a = \frac{R_a(\text{kg}) \cdot V\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)}{75\left(\frac{\text{kgm}}{\text{s}}\right) \cdot 3.6\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)} \quad (4.28)$$

En las ecuaciones 4.27 y 4.28 ya se incluye la conversión a kilómetros por hora, al igual que los kilogramos por segundo a caballos de vapor. En la Tabla 4.3 se dejan las conversiones necesarias para los cálculos de potencia.

$$\begin{aligned} W &= \frac{J}{s} = \frac{N \cdot m}{s} = \frac{Kg \cdot m^2}{s^2} \\ 75 \text{ kgf} \cdot 1 \frac{m}{s} &= 735.5 W \\ 1 \text{ kp(kgf)} &= 1 \text{ kg} \cdot 9.8066 \frac{m}{s^2} = 9.8 N \\ 735 W &= 1 CV = 75 \frac{\text{kgm}}{s} = 0.986 HP \\ 3.6 \frac{\text{km}}{\text{h}} &= 1 \frac{m}{s} \end{aligned}$$

Tabla 4.3: Conversiones para cálculos de potencia

Por lo tanto, en base a la fórmula 4.27 para el cálculo de potencia consumida por rodadura:

Tenemos:

$$W_r = \frac{486 \cdot 75}{75 \cdot 3.6} = 135 \text{ CV}$$

Y para la potencia consumida por el aire 4.28:

Tenemos:

$$W_a = \frac{347.22 \cdot 75}{75 \cdot 3.6} = 96.42 \text{ CV}$$

Se puede considerar pérdidas de potencia de un orden máximo del 10 % suministrado por el motor y entre un 5 % y 10 % en camiones debido al tren de engranajes. Por lo tanto la potencia total consumida por el motor considerando una pérdida del 10 %:

Se obtiene con:

$$W_m = 0.10W_m + W_r + W_a$$

Despejando:

$$W_m = \frac{231.41}{0.90} = 257.12 \text{ CV}$$

Considerando la velocidad de  $110 \frac{km}{h}$ :

$$R_a = 0.10 \cdot 8 \cdot 30.55^2 = 746.64 \text{ kg}$$

Para la rodadura:

$$W_r = \frac{486 \cdot 110}{75 \cdot 3.6} = 198 \text{ CV}$$

Para el aire:

$$W_a = \frac{746.64 \cdot 110}{75 \cdot 3.6} = 304.18 \text{ CV}$$

La potencia del motor:

$$W_m = \frac{502.18}{0.90} = 557.97 \text{ CV}$$

## 4.7. Problemas de cálculo de potencia

### Ejemplo 1

Calcular la potencia con la que hay que dotar a un vehículo de 20 toneladas de MMA para que pueda alcanzar  $80 \frac{km}{h}$  al 90 % de potencia máxima.

$$S = 8 m^2$$

Datos:

$$f = 18 \frac{kg}{t}$$

$$c = 1.2$$

$$K = 0.06$$

$$R_r = 18 \cdot 20 = 360 kg$$

$$R_a = 0.07 \cdot 8 \cdot 22.2^2 = 275.9 kg$$

$$W_a = \frac{275.9 \cdot 80}{75 \cdot 3.6} = 81.7 CV$$

$$W_r = \frac{360 \cdot 80}{75 \cdot 3.6} = 111 CV$$

**Con pérdida de potencia del 5 %**

$$W_m = 0.05W_m + W_r + W_a$$

$$W_m(max) = \frac{W_m}{\%Pmax}$$

$$W_m = \frac{W_r + W_a}{0.95}$$

Potencia del motor:

$$W_m = \frac{188.3}{0.95} = 198.21 CV$$

La potencia máxima:

$$W_m(max) = \frac{198.21}{0.9} = 220.2 CV$$

**¿Qué pendiente  $x\%$  puede superar el vehículo a  $60 \frac{km}{h}$  con el motor a su máxima potencia?**

Para resistencia por rodadura

$$W_r = \frac{P \cdot f \cdot V}{75 \cdot V}$$

$$W_r = \frac{20 \cdot 18 \cdot 60}{75 \cdot 3.6} = 80 CV$$

Para resistencia por aire

$$W_a = \frac{K \cdot S \cdot V^3}{75 \cdot V^3}$$

$$W_a = \frac{0.07 \cdot 8 \cdot 60^3}{75 \cdot 3.6^3} = 34.5 CV$$

Si se quisiera obtener la potencia para superar la pendiente 4.29:

$$W_p = \frac{g \cdot P \cdot x \cdot V}{75 \cdot 3.6} \tag{4.29}$$

$$W_p = \frac{10 \cdot 20 \cdot x \cdot 60}{75 \cdot 3.6} = 44.4 x$$

De la potencia máxima se acostumbra el uso de un Factor de seguridad de 10 % a 5%. Y se obtiene el cálculo de porcentaje de la pendiente con la fórmula 4.30:

$$W_m = \frac{W_r + W_a + W_p(x)}{\%Pmax \cdot Factorde seguridad} = \% \tag{4.30}$$

$$W_m = \frac{80 + 34.5 + 44.4 \cdot x}{0.85} = 220.2$$
$$x = 1.6\%$$

**Calcular la aceleración con que podría arrancar en una pendiente “x”.**

Calculamos la resistencia a la rodadura

$$R_r = 360 \text{ kg}$$

Calculamos la resistencia a la pendiente

$$R_p = 320 \text{ kg}$$

Calculamos la resistencia aerodinámica

$$R_a = K \cdot S \cdot V^2$$
$$R_a = 0.07 \cdot 8 \cdot 16.6^2 = 154.3 \text{ kg}$$

Obtenemos la aceleración con respecto al aire

$$j = \frac{R_a}{M}$$

$$j = \frac{154.3}{\frac{20 \cdot 10^3}{10}} = 0.07 \frac{m}{s^2}$$

Obtenemos la aceleración con respecto a la pendiente

$$j' = \frac{R_p}{M}$$

$$j' = \frac{320}{\frac{20 \cdot 10^3}{10}} = 0.16 \frac{m}{s^2}$$

## Ejemplo 2

El motor de un vehículo proporciona un par de  $120 \text{ N} \cdot \text{m}$  a 3000 r.p.m. si el sistema mecánico de transmisión a las 4 ruedas tiene un rendimiento del 80%. ¿De qué potencia disponemos en las ruedas del vehículo? En la Tabla 4.4 se muestran las conversiones necesarias para comprender el siguiente ejercicio.

---

$w$  Velocidad angular ( $\frac{\text{rad}}{\text{seg}}$ )

Sabiendo que:  $\eta$  Velocidad del giro de motor. Revoluciones por minuto (r.p.m.)

$M$  Momento ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )

---

---


$$1 \text{ r.p.m.} = \frac{2\pi(\text{rad})}{60(\text{s})} = \frac{\pi}{30} = 0.10471 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$1 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} = 9.549 \frac{\text{r.p.m.}}{\text{min}}$$

$$w = \frac{\eta \cdot 2\pi}{60(\text{s})} = \frac{\eta}{9.55} = P = \frac{M \cdot \eta}{9.55}$$


---

Tabla 4.4: Conversiones para cálculos de r.p.m.

La potencia de entrada:

$$P_e = M \cdot w$$

$$120 \cdot 3000 \cdot \frac{2\pi}{60} = 37680 \text{ W}$$

La potencia de salida:

$$P_s = \eta \cdot P_e$$

$$0.8 \cdot 37680 = 30144 \text{ W}$$

### Ejemplo 3

El motor de un tractor suministra una potencia de 80 CV a 2200 r.p.m, el movimiento se transmite íntegramente a las ruedas que giran a 180 r.p.m. Calcular:

- Par motor
- Potencia en las ruedas
- Par en las ruedas

Fórmula de potencia 4.31

a)

$$P = M \cdot w \quad (4.31)$$

Despejando:

$$M = \frac{P}{w}$$

$$M = \frac{80 \cdot 735}{2200 \cdot \frac{2\pi}{60}} = 255.7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

b) El momento se transmite a las ruedas. Determinar potencia de entrada y salida.

$$P_e = 255.7 \cdot 2200 \cdot \frac{2\pi}{60} = 58909$$

$$P_s = \eta \cdot P_e = 0.80 \cdot 58909 = 47127$$

c) Al ser potencias iguales.

$$M_{er} = \frac{M_{em} \cdot w_{em}}{w_{er}}$$

$$\frac{255.7 \cdot 2200}{180} = 3125.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

## Ejemplo 4

Un motor de un vehículo suministra una potencia de 90 CV a 5000 r.p.m.. El vehículo se encuentra subiendo una pendiente por lo que tiene que vencer una fuerza de 1744.5 N en dirección del

movimiento. La transmisión del motor a las ruedas, de radio 0.3m tiene un rendimiento del 95 %.

Determinar:

- a) La velocidad máxima de ascenso.
  - b) Par motor de cada rueda.
  - c) Relación de cambio para conseguir la fuerza necesaria.
  - d) El consumo horario de gasolina en las condiciones del problema, teniendo en cuenta que el motor tiene un rendimiento del 20 % y que la gasolina tiene un poder calorífico de  $9960 \frac{Kcal}{kg}$  y densidad de  $0.75 \frac{Kg}{dm^3}$ .
- a) La potencia útil

$$P_u = P_{suministrada} \cdot \eta_m$$

Multiplicando la potencia por el rendimiento:

$$90 \cdot 0.95 = 85.5 CV$$

Convirtiendo los CV a Watts;

$$85.5 \cdot 735 = 62928 W$$

La velocidad máxima de ascenso:

$$V_{max} = \frac{P_{util}}{F}$$

La potencia útil por la fuerza:

$$\frac{62928}{1744.5} = 36 \frac{m}{s^2}$$

b) El par motor en cada rueda tractora. Cada rueda realiza la mitad de la fuerza.

$$M = \frac{F \cdot r}{2}$$

Se divide entre el número de ruedas del eje:

$$\frac{1744.5 \cdot 0.3}{2} = 261.67 \text{ N} \cdot \text{m}$$

c) La velocidad angular

$$w = \frac{V}{r}$$

La velocidad entre el radio de la rueda:

$$\frac{36}{0.3} = 120 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Convirtiendo a r.p.m.

$$120 \cdot \frac{60}{2\pi} = 1146 \text{ r.p.m.}$$

La relación de transmisión será:

$$\frac{1146.5}{5000} = 0.23$$

d) La potencia calorífica que se debe aportar

$$P_{util} = P_{aportada} \cdot \eta_m$$

$$P_{aportada} = \frac{P_{util}}{\eta_m}$$

$$\frac{62928}{0.20} = 314640 \text{ W}$$

Para la Potencia aportada.

Convertir Jules a Calorías considerando:

---


$$1J = 0.24 \text{ Cal}$$

$$1W = 1 \frac{J}{s}$$

$$1dm^3 = 1 \text{ Litro}$$

$$G = \text{Gasto}$$

$$Q = \text{Poder calorífico}$$


---

Potencia aportada:

$$314640 \frac{J}{s} = 0.24 \cdot 314640 = 75513.6 \frac{Cal}{s}$$

$$75513.6 \cdot 3.6 = 271848 \frac{KCal}{h}$$

$$P_{aportada} = G \cdot Q_e$$

Para el gasto:

$$G = \frac{P_{aportada}}{Q_e}$$

$$\frac{271848}{9960} = 27.3 \frac{Kg}{h}$$

Para el volumen:

$$Volumen = \frac{masa}{densidad}$$

$$\frac{27.3}{0.75} = \boxed{36.4 \frac{l}{h}}$$

# Capítulo 5

## Sistema de frenos

Un sistema de frenos es un conjunto de componentes mecánicos, hidráulicos o electromecánicos diseñados específicamente para detener o reducir la velocidad de un vehículo de manera precisa y controlada. Independientemente de si se trata de frenos de disco o de tambor (Véase Figura 5.1), su función principal es generar la fricción necesaria para desacelerar el vehículo de forma gradual. Como consecuencia de este proceso, la energía cinética del vehículo se transforma en calor, disipándose a través de los componentes del sistema de frenado. La relevancia de los sistemas de frenos en la seguridad vehicular es indiscutible, ya que otorgan a los conductores la capacidad de detener o disminuir la velocidad del vehículo según sea necesario. Aspectos fundamentales en el proceso de frenado comprenden la desaceleración media, la distancia de frenado y el mantenimiento del control del vehículo durante la acción de frenado (Thomas, 2013).

Es importante destacar que en camiones, los sistemas de frenos suelen funcionar de forma neumática, utilizando aire comprimido para aplicar la fuerza de frenado. Esta metodología permite un frenado potente y efectivo en vehículos comerciales y pesados (Staff, 2012). En contraste, los sistemas de frenos hidráulicos utilizan líquido hidráulico para transmitir la fuerza de frenado, comúnmente empleados en vehículos de motor convencionales. La diferencia principal entre ambos radica en el medio de transmisión de la fuerza de frenado: aire comprimido en el caso de los sistemas neumáticos y líquido hidráulico en los sistemas hidráulicos. En la siguiente figura 5.2 se ve de manera simple un diagrama con la distribución del sistema neumático de frenado de un tractocamión.

Dentro del ámbito de la seguridad vehicular, es fundamental destacar el control del vehículo durante la

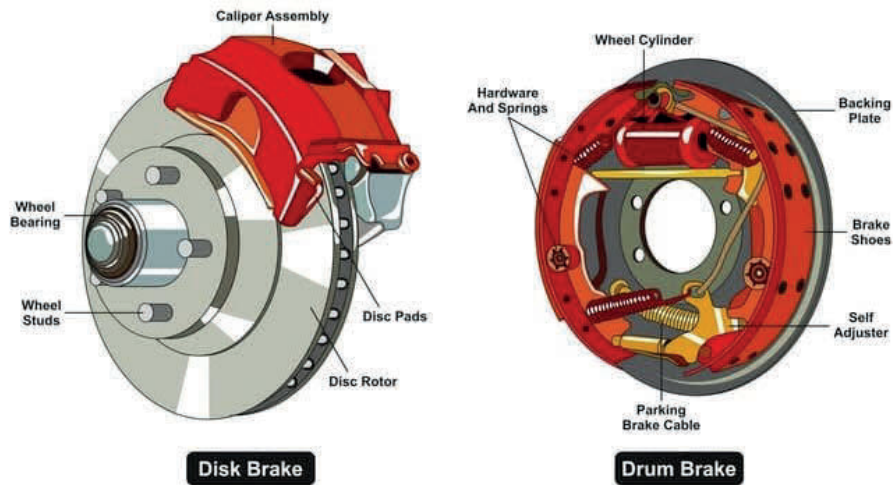


Figura 5.1: Ejemplo de frenos de disco y de tambor (SI, 2022)

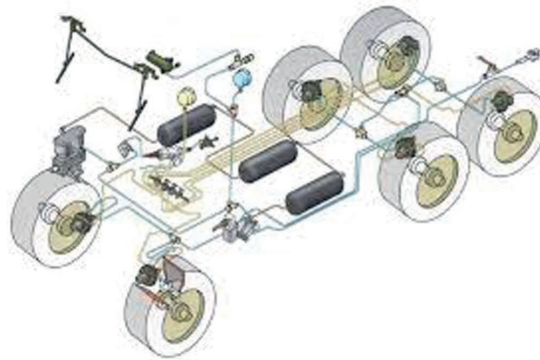


Figura 5.2: Diagrama de sistema de frenos en tractocamión (SI, 2022)

frenada, ya que la reacción del mismo está influenciada en gran medida por el número de ejes y el tipo de vehículo. Por ejemplo, en vehículos articulados, la distribución del frenado en las ruedas traseras del tractocamión puede propiciar el fenómeno del “pliegue” entre las dos unidades, aumentando el riesgo de que el remolque experimente un giro descontrolado, conocido como “trompo”, donde pivotea sobre el tractocamión y realiza un medio círculo hacia adelante, lo que puede resultar en una volcadura Figura 5.3. Por otro lado, la priorización del bloqueo en las ruedas del semirremolque puede provocar una pérdida de control direccional y una distancia de frenado más prolongada, especialmente debido al peso de la carga. En situaciones en las que el semirremolque está cargado al máximo, puede ser insuficiente para detener el camión dentro de una distancia aceptable, mientras que si va vacío, puede generar un fenómeno conocido como “Chattering”, caracterizado por una falta de tracción en las ruedas y una vibración excesiva durante la frenada.

Adicionalmente, ciertos vehículos pesados pueden contar con sistemas de frenado complementarios, como frenos de motor o retardadores, diseñados para asistir en la disipación de la energía cinética y reducir la carga sobre los frenos convencionales, particularmente en descensos pronunciados o situaciones de frenado prolongado.

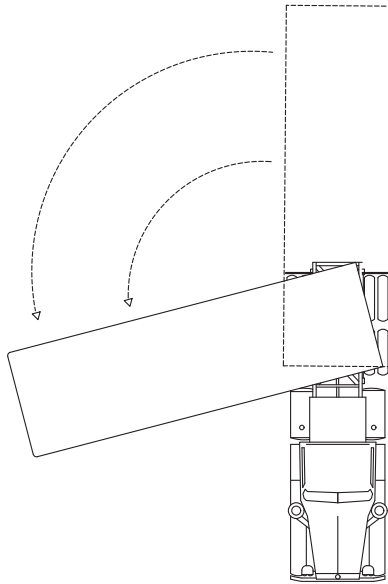


Figura 5.3: Giro de camión al frenar

## 5.1. Características, tipos y generalidades

Como se mencionó anteriormente la función principal de un sistema de frenado es detener un vehículo de forma progresiva su velocidad, pero también debe ser capaz de mantenerlo inmóvil si se encuentra ya detenido. Los vehículos pesados utilizan frenos de aire en lugar de frenos hidráulicos por su capacidad para manejar grandes fuerzas de frenado, su fiabilidad y facilidad de mantenimiento. Los frenos neumáticos son más seguros, ya que en caso de una fuga, el sistema puede seguir funcionando y activar los frenos automáticamente, asegurando que el vehículo se detenga. Además, los frenos de aire no requieren cambios de líquido, lo que reduce costos de mantenimiento. También permiten un mejor control de frenado, esencial para vehículos grandes y pesados, y se adaptan mejor a las exigencias de aplicaciones comerciales severas, ofreciendo una modulación de frenado más eficiente y segura en comparación con los frenos hidráulicos. Por ejemplo, para los tractocamiones es más sencillo realizar las conexiones de los frenos de la caja. También un aumento de temperatura muy

elevado puede hacer que usando líquido de frenos, a este se le generen burbujas de aire disminuyendo así el poder de comprensión del freno. (Thomas, 2013). Aquí se detallan algunos de los tipos y sistemas de freno indispensables y más importantes que lleva consigo un vehículo pesado, haciendo énfasis al Jake o freno motor.

- **Freno de estacionamiento:** Su función principal es mantener el vehículo inmovilizado cuando está estacionado, por lo general, actúa sobre las ruedas traseras y se activa mediante un mecanismo de palanca, pedal o botón. Suele ser mecánico, utilizando un cable para aplicar presión a los frenos traseros, y puede tener un diseño de tambor o disco, dependiendo del vehículo. Se debe utilizar al estacionar el vehículo en una pendiente o en situaciones donde se requiera inmovilidad prolongada.
- **Freno de servicio:** Es el principal sistema de frenado del vehículo y se utiliza para detenerlo durante la conducción normal. Se activa mediante el pedal de freno y puede actuar sobre todas las ruedas. En el caso de tractocamiones con semirremolque, por lo general cuentan con un dispositivo que permite sólo frenar con el tractocamión o sólo con la caja, proporciona la mayor parte de la potencia de frenado y se utiliza en situaciones de conducción cotidiana, como detenerse en semáforos, cruces o en situaciones de emergencia. Normalmente, se usan frenos de disco o de tambor y suelen ser activados con sistema hidráulico utilizando líquido de frenos para transmitir la presión desde el pedal hasta los frenos. Sin embargo se debe aclarar que en los vehículos pesados se utilizan frenos neumáticos, por razones que se detallarán más adelante.
- **Frenos de socorro:** Es un sistema de respaldo o emergencia en caso de falla en el sistema principal de frenado. Puede ser una función adicional del freno de servicio, como el freno de mano en algunos vehículos, o un sistema independiente, como el freno de emergencia neumático en algunos camiones. Se activa manualmente o automáticamente en caso de pérdida de presión en el sistema de frenos principal. Proporciona una capacidad de frenado limitada pero suficiente para detener el vehículo de manera segura en caso de emergencia.
- **Freno auxiliar:** Se refiere a un sistema de frenado adicional que se utiliza para proporcionar

una capacidad de frenado adicional en situaciones específicas, como descensos pronunciados o prolongados en carreteras empinadas. Este sistema ayuda a controlar la velocidad del vehículo y a reducir la carga sobre los frenos principales durante estas situaciones críticas. Estos frenos son especialmente importantes en vehículos pesados que transportan cargas pesadas o que operan en terrenos montañosos, donde se requiere un control adicional de la velocidad y una capacidad de frenado prolongada para mantener la seguridad y el control del vehículo.

Hay varios tipos de frenos auxiliares que se utilizan en vehículos pesados, como camiones y autobuses. Algunos de los frenos auxiliares más comunes incluyen (Staff, 2012):

- **Freno de motor:** También conocido como *Jake Brake*, freno de escape o freno de compresión, utiliza la resistencia del motor para reducir la velocidad del vehículo al cerrar parcialmente las válvulas de escape, lo que crea una presión negativa en los cilindros y ayuda a frenar el vehículo. Este sistema aprovecha la fuerza de compresión del motor para disipar la energía cinética y reducir la velocidad, lo que ayuda a controlar la velocidad en descensos largos. Véase Figura 5.4. Su funcionamiento detallado es como sigue: El motor sigue su ciclo de compresión normal, pero en lugar de que el combustible se inyecte y la combustión ocurra, el *Jake Brake* abre las válvulas de escape justo antes del punto máximo de compresión, posteriormente la energía comprimida se libera, desacelerando el motor y, por ende, el vehículo.

### **Ventajas**

- Reducción del desgaste: Al usar el freno de motor, se reduce el desgaste de los frenos de fricción.
- Control mejorado: Proporciona una mejor capacidad de control del vehículo en descensos largos y pronunciados.

### **Desventajas**

- Ruido: Los *jake brakes* pueden ser muy ruidosos, lo que ha llevado a restricciones en su uso en áreas residenciales.
- Costo: Puede ser un sistema costoso de instalar y mantener.

- **Retardador hidráulico:** Este tipo de freno auxiliar utiliza la resistencia hidráulica para reducir la velocidad del vehículo. Normalmente se instala en la transmisión del vehículo y utiliza el fluido hidráulico para generar resistencia y disipar la energía cinética, lo que ayuda a frenar el vehículo sin depender únicamente de los frenos de servicio.
- **Freno eléctrico:** Algunos vehículos pesados están equipados con frenos eléctricos que utilizan la energía eléctrica para generar resistencia y ayudar a frenar el vehículo. Estos frenos suelen funcionar en conjunto con otros sistemas de frenado para proporcionar una capacidad de frenado adicional cuando sea necesario.

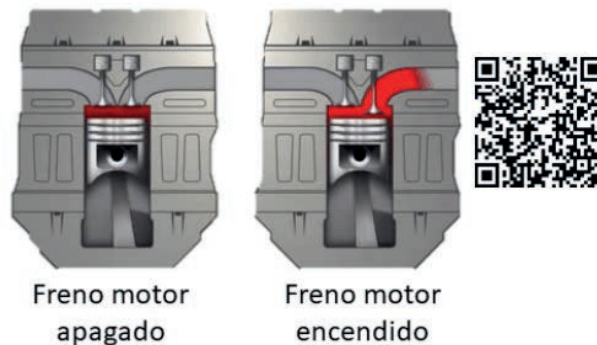


Figura 5.4: Freno motor (*Jake brake*) (Automotriz & Automotriz, 2020b)

En lo que respecta a los frenos de servicio y de emergencia, es fundamental que el conductor pueda accionarlos desde su posición sin necesidad de apartar las manos del volante. Además, el freno de estacionamiento debe ser capaz de operar incluso en ausencia del conductor.

Actualmente los vehículos modernos cuentan con el Sistema de Frenado Electrónico (EBS) y el Control de Tracción Antideslizamiento (ASR) son dos tecnologías importantes en los vehículos modernos que mejoran la seguridad y la estabilidad durante la conducción. Figura 5.5. (Bennett, 2006):

- **Sistema de Frenado Electrónico (EBS):** Es una tecnología avanzada de frenado que reemplaza los sistemas de frenos convencionales hidráulicos con controles electrónicos. Utiliza sensores electrónicos para monitorear varios parámetros del vehículo, como la velocidad de las ruedas, la presión de frenado, la posición del pedal de freno y la carga del vehículo. Basándose en esta información, el EBS puede modular de manera más precisa la presión de frenado en cada rueda individualmente, lo que permite un control más preciso y efectivo del frenado.

Además de mejorar la seguridad, EBS también puede ofrecer otras funciones avanzadas, como el control de estabilidad (ESP) y el control de arranque en pendientes (*Hill Start Assist*).

- **Control de Tracción Antideslizamiento (ASR):** También conocido como Control de Tracción o Sistema de Control de Tracción (TCS), es un sistema diseñado para evitar que las ruedas pierdan tracción durante la aceleración, especialmente en superficies resbaladizas como hielo, nieve o agua. ASR utiliza sensores para monitorear la velocidad de las ruedas y detectar cualquier diferencia significativa de velocidad entre las ruedas motrices. Cuando se detecta que una o más ruedas están patinando, el sistema reduce automáticamente la potencia del motor y/o aplica frenado selectivo en las ruedas que están perdiendo tracción para restaurar la estabilidad y evitar el deslizamiento. ASR trabaja en conjunto con otros sistemas de control de vehículos, como el sistema de frenado antibloqueo (ABS) y el control de estabilidad (ESP), para mejorar aún más la seguridad y el control del vehículo en situaciones de manejo difíciles.

En México, el Sistema de Frenado Electrónico (EBS) y el Control de Tracción Antideslizamiento (ASR) son tecnologías que están presentes en vehículos de la marca Yutong que dan servicio de transporte de pasajeros en las líneas de servicio del camión M1 y Trolebús (Yutong, 2024).

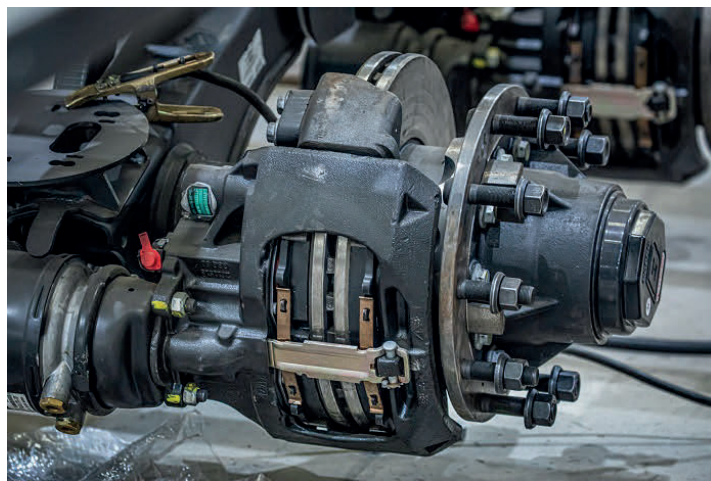


Figura 5.5: Sistema de freno de disco con EBS y ASR de camión Scania (Niederle, 2024)

## 5.2. Cálculo de frenado

La eficacia de los dispositivos de frenado se basa en la distancia de frenado, que se determina por la combinación del tiempo de respuesta del dispositivo y la desaceleración media durante su funcionamiento normal. La distancia de frenado se define como la longitud recorrida por el vehículo desde el momento en que el conductor activa el dispositivo de frenado hasta que el vehículo se detiene por completo.

Un sistema de frenos consta de tres componentes fundamentales: el mando, la transmisión y el mecanismo de frenado. El mando es el sistema de control que el conductor utiliza para activar los frenos, ya sea mediante un pedal, una palanca o un botón. La transmisión es responsable de transmitir la fuerza del mando al mecanismo de frenado, que a su vez ejerce la acción de frenado sobre las ruedas del vehículo (Staff, 2012).

A continuación se detallan los componentes del sistema de frenos.

- **Mando:** El mando en un sistema de frenos se refiere al dispositivo o mecanismo que el conductor utiliza para activar los frenos. Por lo general, esto incluye el pedal de freno en vehículos de motor, que se presiona con el pie para aplicar presión hidráulica o mecánica a los frenos y detener el vehículo. El mando puede ser un pedal de freno, una palanca de freno de mano o cualquier otro dispositivo diseñado para controlar la acción de frenado.
- **Transmisión:** La transmisión en un sistema de frenos se refiere al proceso de transmitir la fuerza o la energía generada por el mando a los frenos mismos, que son los componentes que realmente generan la fuerza de frenado para detener el vehículo. En sistemas de frenos hidráulicos, la transmisión implica la transferencia de presión hidráulica desde el pedal de freno a través del sistema de frenos hasta los cilindros de freno y las pastillas o zapatas de freno que entran en contacto con los discos o tambores de freno. En sistemas de frenos mecánicos, la transmisión implica la transferencia de fuerza mecánica desde el mando a través de cables o varillas hasta los mecanismos de freno.
- **Mecanismo de frenado:** Se refiere a los componentes y mecanismos que generan la fuerza de frenado para detener el vehículo. Estos pueden incluir discos de freno y pinzas en sistemas de

frenos de disco, o tambores de freno y zapatas en sistemas de frenos de tambor. En sistemas de frenos hidráulicos, los frenos propiamente dichos también incluyen cilindros de freno, pistones y otros componentes que convierten la presión hidráulica en fuerza mecánica para aplicar los frenos. En sistemas de frenos mecánicos, los frenos propiamente dichos pueden incluir cables, palancas, levas y otros mecanismos que aplican directamente la fuerza mecánica a los frenos.

### **Importancia en el cálculo de frenado**

Estas constantes de proporcionalidad son fundamentales para el diseño y análisis de sistemas de frenos en vehículos pesados. Permiten a los ingenieros predecir y ajustar el comportamiento de frenado en diferentes condiciones, asegurando que los sistemas de frenos sean eficaces y seguros. Los cálculos basados en estas constantes ayudan a determinar:

- La distancia de frenado necesaria
- La capacidad de frenado en diferentes superficies de carretera
- La fuerza necesaria para detener el vehículo dentro de un cierto margen de seguridad

#### **5.2.1. Eficacia de frenado**

Se presupone que el vehículo se encuentra en movimiento sobre una superficie plana, y su capacidad de detención se encuentra exclusivamente determinada por el funcionamiento de los frenos, sin considerar otras resistencias al avance, como las abordadas en el capítulo anterior.

El trabajo realizado por la fuerza de frenado es equivalente a la energía absorbida por el vehículo. Esta fuerza de frenado está compuesta por las fuerzas de rozamiento entre las zapatas y los tambores o entre las pastillas y los discos, dependiendo del tipo de freno utilizado. Dichas fuerzas de rozamiento derivan de las fuerzas normales, las cuales se aplican a las zapatas o pastillas, y son producto de la energía muscular del conductor al presionar el pedal del freno y de la presión del aire almacenado en los compresores destinados a este fin (Vega et al., 2012).

Considerando  $F_r$  como la fuerza de rozamiento generada en uno de los frenos, con  $r$  representando su distancia al centro de la rueda,  $F_f$  ilustra el resultado de esta fuerza al aplicarse en la periferia de la rueda. El bloqueo ocurre cuando  $F_f$  excede la adherencia disponible. Y no olvidar que parte de la

eficiencia de frenado dependerá del tipo de neumáticos, que estén en buen estado y que tengan una buena temperatura de trabajo

La desaceleración suele expresarse en porcentaje. Por ejemplo, con un coeficiente de adherencia  $\mu$  de 0.3, la aceleración debida a la gravedad siendo 10 y  $d$  igual a 3, la desaceleración sería del 30 %.

---

$F$  Coeficiente de adherencia periférico entre neumático y carretera

$F_f$  Resultado de la fuerza aplicada a la periferia de la rueda

$F_r$  Fuerza de rozamiento originada en uno de los frenos

$r$  Distancia del freno al centro de la rueda

$P$  Peso

Sabiendo que:  $m$  Masa

$\mu$  Coeficiente de adherencia

$v$  Velocidad al momento de la frenada

$d$  Desaceleración en %

$e$  Distancia recorrida

$N$  Fuerza

---

El valor de  $N$  siempre va a depender de la carga transferida por el efecto de la frenada que ocasiona la desaceleración.

Trabajo por fuerza de frenada de la ecuación 5.1

$$T = F_f \cdot e = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (5.1)$$

Distancia recorrida en cuanto el freno es activado hasta un alto total: con la siguiente ecuación 5.2

$$e = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot F_f} = \frac{\frac{P}{g} \cdot v^2}{2P \cdot \mu} \quad (5.2)$$

Para el desarrollo correcto de este cálculo se debe considerar el tiempo de reacción del conductor para accionar el freno, así como el tiempo de reacción del mecanismo de freno en cuanto es accionado. Según la reglamentación (Carrascosa, 2019) el tiempo de respuesta del freno debe ser de máximo 0.6 segundos. Y si se tiene en cuenta el tiempo de reacción del conductor de entre 0.3 y 1.7 segundos, de determina el recorrido total con la siguiente fórmula:

Considerando un tiempo de reacción del conductor de 1s, el recorrido total con la ecuación 5.3

$$v \cdot 1.6 + e \quad (5.3)$$

El tiempo total en la ecuación 5.4

$$t = 1.6 + \frac{v}{d} \text{ segundos} \quad (5.4)$$

Para evaluar completamente el efecto de frenado, es necesario medir el peso estático del vehículo tanto en condiciones de carga como en vacío, con las ruedas en posición de marcha y alineadas en línea recta.

---

$m$	Masa total del vehículo
$m_1$	Masa del eje delantero
$m_2$	Masa del eje trasero
$P = m \cdot g = P_1 + P_2$	Peso total
Donde: $J = \frac{dv}{dt}$	Desaceleración de frenada con respecto al tiempo
$J_m = \frac{v_m - v_2}{t}$	Desaceleración media entre instantes 1 y 2
$z = \frac{T}{P} = \frac{J}{g}$	Coefficiente o tasa de frenado
$h$	Altura del centro de gravedad del vehículo
$E$	Distancia entre ejes

---

La eficacia de frenado siempre será definida por el coeficiente o tasa de frenado, la cual es la relación entre la fuerza de frenado y el peso estático del vehículo. En la Figura 5.6 se aprecia un diagrama donde se representan las transferencias al generarse una carga durante el proceso del frenado. Y para las cargas en el vehículo estático (Palacios López, 2017):

Vehículo estático:

$$P = m \cdot g$$

$$P_1 = \frac{m \cdot g \cdot b}{E}$$

$$P_2 = \frac{m \cdot g \cdot a}{E}$$

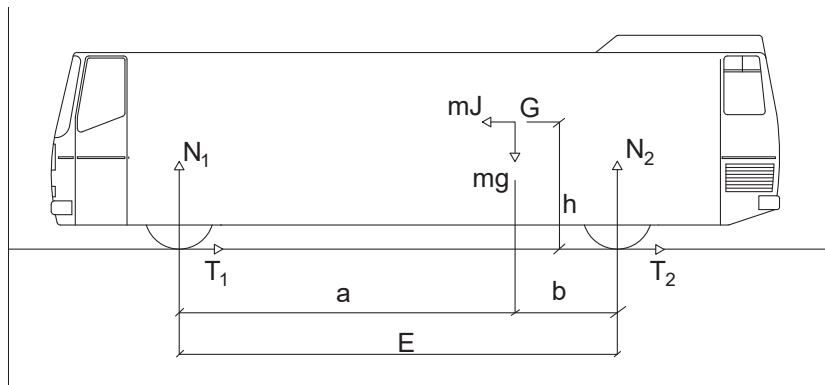


Figura 5.6: Diagrama de carga en el frenado

Despejando  $N_1$

$$P_1 \cdot E = m \cdot g \cdot b$$

$$T = m \cdot J$$

$$N_1 = \frac{m \cdot g \cdot b}{E} + \frac{m \cdot J \cdot h}{E} = P_1 + T \frac{h}{E}$$

$$P_1 + \frac{P}{g} J \frac{h}{E} = P_1 + P \frac{h}{E} Z$$

### 5.2.2. Coeficientes de rozamiento y adherencia

En el contexto de los sistemas motrices, los coeficientes de rozamiento se refieren a valores numéricos que describen la interacción entre dos superficies en contacto y la resistencia al movimiento relativo entre ellas. Aquí están algunos de los diferentes tipos de coeficientes de rozamiento y en la Tabla 5.1 se presentan algunos valores típicos del coeficiente de adherencia ( $\mu$ ) para diferentes condiciones de la superficie de la carretera:

- **Coeficiente de Rozamiento Estático ( $\mu_{\text{estático}}$ ):** Es el coeficiente que describe la resistencia al movimiento inicial entre dos superficies en reposo relativo. En otras palabras, es la fuerza de fricción máxima que debe vencerse para iniciar el movimiento entre las superficies.
- **Coeficiente de Rozamiento de Deslizamiento ( $\mu_{\text{deslizamiento}}$ ):** Es el coeficiente que describe la resistencia al movimiento continuo entre dos superficies en movimiento relativo. Este

coeficiente es generalmente menor que el coeficiente de rozamiento estático porque una vez que las superficies están en movimiento, la fricción tiende a disminuir.

- **Coeficiente de Adherencia ( $\mu_{\text{adherencia}}$ ):** Este coeficiente se refiere a la capacidad de agarre o tracción entre dos superficies en contacto. Es una medida de la fuerza de fricción máxima disponible entre las superficies antes de que ocurra el deslizamiento. En el contexto de los sistemas motrices, un alto coeficiente de adherencia es deseable para garantizar una transmisión eficiente de la potencia del motor a las ruedas y una tracción adecuada en diferentes condiciones de la carretera

Tabla 5.1: Coeficientes de adherencia (Dietsche, 2005)

Superficie de la carretera	Coeficiente de adherencia ( $\mu$ )
Asfalto limpio y seco	0.7 - 0.9
Asfalto húmedo	0.4 - 0.7
Asfalto mojado	0.3 - 0.4
Asfalto con hielo o nieve derretida	0.2 - 0.3
Hormigón limpio y seco	0.6 - 0.8
Hormigón húmedo	0.4 - 0.6
Grava compactada	0.4 - 0.6
Grava suelta	0.2 - 0.4
Tierra compactada	0.3 - 0.5
Tierra suelta	0.2 - 0.4
Hierba corta	0.3 - 0.6
Hierba larga	0.2 - 0.4
Arena compactada	0.3 - 0.5
Arena suelta	0.2 - 0.4

Para el cálculo de la distancia del freno al centro de la rueda ( $r$ ) 5.5 y 5.7 para el coeficiente de adherencia periférico entre neumático y carretera (Palacios López, 2017).

$$r = \frac{b + h \cdot \mu}{a - h \cdot z} \quad (5.5)$$

Siendo  $z$  el coeficiente o tasa de frenado en relación con la fuerza de frenado y el peso estático del vehículo de la ecuación 5.6

$$z = \frac{T}{P} = \frac{J}{g} \quad (5.6)$$

$F$  siendo el límite de las adherencias en la ecuación 5.7 y  $F_1$  como el coeficiente que emplean los dos ejes al mismo tiempo. y  $F_0$  coeficiente de adherencia máxima posible

Para  $F$  con el vehículo cargado:

$$F = \frac{a' \cdot r - b'}{(r + 1)h'} \quad (5.7)$$

Priorizando bloqueo en ruedas traseras con la ecuación:

$$F = \frac{r \cdot a - b}{(r + 1)h} < F_0 \quad (5.8)$$

Sabiendo que:

$$\frac{b}{a} < r < \frac{b + F_0 \cdot h}{a - F_0 \cdot h}$$

$F_1 = F_2 = z$  como punto de adherencia utilizada por los ejes, es la misma adherencia e igual a  $z$ . Si para  $z$ ,  $F_1$  es mayor que  $F_2$ , significa que hay prioridad de bloqueo en ruedas delanteras con respecto a las traseras, debido a que  $F_1$  representa las ruedas delanteras y  $F_2$  a las ruedas traseras.

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot r \cdot a}{b - F_2(r + 1)h}$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot b}{r \cdot a - F_1(r + 1)h}$$

### Ejemplo 1:

Supongamos que tienes un camión pesado que se encuentra en una pendiente ascendente con un ángulo de inclinación de  $10^\circ$  con respecto a la horizontal. El camión tiene una masa de 20,000 kg y las ruedas están en contacto con una superficie de carretera con un coeficiente de rozamiento estático de 0.7 y un coeficiente de adherencia de 0.8.

Calcular la fuerza de fricción estática máxima que puede proporcionar cada rueda del camión para evitar que el camión se deslice cuesta abajo.

Para calcular la fuerza de fricción estática máxima, primero necesitamos determinar la fuerza normal que actúa sobre las ruedas del camión. La fuerza normal es igual al peso del camión que actúa perpendicularmente a la superficie de la carretera. Podemos calcularlo utilizando la masa del camión y la aceleración debida a la gravedad:

$$N = m \cdot g$$

$$N = 20,000 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 196,200 \text{ N}$$

Ahora, podemos calcular la fuerza de fricción estática máxima utilizando la fórmula:

Donde:  $\mu_{estático} = 0.7$

$$F_{estática} = \mu_{estático} \cdot N$$

$$F_{estática} = 0.7 \cdot 196,200 N = 137,340 N$$

Entonces, la fuerza de fricción estática máxima que puede proporcionar cada rueda del camión es de 137,340 N

### Ejemplo 2:

Considerando el diagrama de frenado de la Figura 5.6 se tienen los siguientes datos:

	Eje delantero	Eje trasero	Total
Camión vacío	5191	2548	7739
Camión cargado	8400	15600	24000

Peso vacío	a = 1467	b = 3533	h = 1100
Peso con carga	a' = 3520	b' = 1570	h' = 1600

Se deberá calcular  $r$  con el vehículo vacío, para después dar paso a obtener el valor de  $F$  para el vehículo cargado, tomando como valor de  $\mu$

Considerando  $\mu$  con 0.5

$$r = \frac{3533 + 1100 \cdot 0.4}{1467 - 1100 \cdot 0.5} = 4.452$$

Para  $F$  con el vehículo cargado

$$F = \frac{3520 \cdot 4.452 - 1570}{(4.452 + 1)1600} = 2.199$$

### Ejemplo 3:

¿Cuál es la distancia recorrida de un tractocamión desde que se activa el freno, hasta que se detiene por completo? Si tiene un peso total de 14 toneladas y tiene una velocidad media de frenado de  $10 \frac{m}{s}$  y circula sobre una superficie mojada con un coeficiente de adherencia del 0.3. De igual forma, indique el recorrido total si el conductor tuvo un tiempo de respuesta de 1.2 segundos para activar el freno.

$$e = \frac{\frac{14,000}{10} \cdot 10^2}{2 \cdot 14000 \cdot 0.3} = \frac{140,000}{8400} = 16.6 \text{ m}$$

$$Rt = 10 \cdot (1.2 + 0.6) + 16.6 = 34.6 \text{ m}$$

### 5.3. Ensayos de frenada

Un ensayo de frenada en camiones es una prueba realizada para evaluar el rendimiento del sistema de frenos de un camión en condiciones controladas. Durante este ensayo, el vehículo se somete a una serie de frenadas desde una velocidad determinada hasta detenerse por completo. El objetivo principal del ensayo es determinar la distancia de frenado, la desaceleración y la eficacia del sistema de frenos.

El ensayo de frenada se lleva a cabo típicamente en una pista de pruebas diseñada específicamente para este propósito, donde se pueden controlar las condiciones ambientales y de la carretera. La velocidad inicial, el peso del vehículo, la carga, y otros factores pueden variar según los requisitos de la prueba. Durante el ensayo, se registran datos importantes, como la velocidad inicial, la distancia de frenado, el tiempo de frenado y la desaceleración. Estos datos se utilizan para evaluar la capacidad de frenado del camión y para comparar el rendimiento del sistema de frenos con los estándares de seguridad y las especificaciones del fabricante (Carrillo, 2004).

Los ensayos de frenada son fundamentales para garantizar la seguridad de los vehículos comerciales y pesados en las carreteras. Proporcionan información valiosa sobre el comportamiento de frenado del camión en situaciones de emergencia y ayudan a identificar posibles problemas o deficiencias en el sistema de frenos que deben corregirse. El rendimiento se comprobará midiendo la distancia de frenado y desaceleración media, partiendo de una velocidad predeterminada. Para adherencias bajas deberán ajustarse a ciertas condiciones.

Por otro lado, El “Automated Indoor Braking Analyzer (AIBA)” es un sistema utilizado para realizar pruebas de frenado en interiores, especialmente en entornos controlados como laboratorios o instalaciones de pruebas. Este sistema está diseñado para evaluar el rendimiento de los sistemas de frenos de vehículos en condiciones simuladas y controladas (Diario de Transporte, 2022).

El AIBA utiliza una combinación de sensores, actuadores y software especializado para medir y analizar diversos parámetros relacionados con la frenada, como la distancia de frenado, la desaceleración, la fuerza de frenado y otros aspectos del comportamiento del vehículo durante la frenada. Figura 5.7. Este tipo de sistema es utilizado por fabricantes de vehículos, empresas de ingeniería y laboratorios de pruebas para realizar pruebas de certificación, investigación y desarrollo de sistemas de frenos. Proporciona una forma precisa y reproducible de evaluar el rendimiento de los sistemas de frenado en una variedad de condiciones y escenarios, lo que ayuda a garantizar la seguridad y la calidad de los vehículos en el mercado.



Figura 5.7: Vehículo analítico AIBA para ensayo de frenado de Continental

### **5.3.1. Ensayo tipo 0 de rendimiento con frenos en frío**

Este es un tipo específico de ensayo de frenada que se lleva a cabo según ciertos estándares y protocolos establecidos por organizaciones regulatorias o de normalización (International Organization for Standardization, 2020), (Federal, 2000). Este tipo de ensayo está diseñado para evaluar el rendimiento de los sistemas de frenos de un vehículo en condiciones controladas y reproducibles.

Los ensayos tipo 0 suelen implicar la realización de frenadas desde una velocidad inicial específica hasta detener por completo el vehículo. Durante el ensayo, se registran y analizan diversos parámetros, como la distancia de frenado, la desaceleración, la fuerza de frenado y otros aspectos relacionados con el comportamiento del vehículo durante la frenada.

Estos ensayos son fundamentales para garantizar que los vehículos cumplan con los estándares de seguridad y calidad establecidos por las autoridades reguladoras y las organizaciones de normalización. Proporcionan información valiosa que puede utilizarse para evaluar y mejorar el diseño y la ingeniería de los sistemas de frenos de los vehículos, así como para identificar posibles problemas o deficiencias en su rendimiento.

### **5.3.2. Ensayo tipo 1 de pérdida de eficacia**

El ensayo tipo 1 es una prueba específica que se realiza para evaluar la capacidad de los sistemas de frenos de un vehículo para mantener su eficacia de frenado en diferentes condiciones. Esta prueba se lleva a cabo de acuerdo con estándares y protocolos establecidos por organizaciones reguladoras o de normalización.

Durante el ensayo tipo 1 de pérdida de eficacia, se realizan frenadas repetidas a partir de una velocidad inicial específica, y se registran los datos relacionados con la distancia de frenado y la eficacia del sistema de frenos en cada frenada. Luego, se introducen condiciones variables que pueden afectar la eficacia de los frenos, como la temperatura de los frenos, la presión del sistema de frenos o la carga del vehículo, y se vuelven a realizar las frenadas (Carrillo, 2004).

El propósito de este ensayo es determinar cómo afectan estas condiciones variables al rendimiento de los sistemas de frenos y asegurarse de que los vehículos cumplan con los estándares de seguridad establecidos. Los resultados de la prueba proporcionan información valiosa que puede utilizarse para

evaluar y mejorar el diseño y la ingeniería de los sistemas de frenos, así como para identificar posibles problemas o deficiencias en su rendimiento.

### Con frenado repetitivo

Este ensayo es recomendado para vehículos categoría N3 y se deberán considerar las siguientes condiciones:

---

$v_1$	Velocidad inicial
$v_2$	Velocidad final
$v_{m\acute{a}x}$	Velocidad máxima del vehículo
$n$	Número de frenados sucesivos
$t$	Duración de un ciclo de frenado
	(Entre el comienzo de un frenado y el comienzo del siguiente)

---

Categoría	$v_1$ (km/h)	$v_2$	t	n
N3	80 % $v_{m\acute{a}x} \leq 60$	$1/2 v_1$	60	20

En cuando se finalice el ensayo se debe proceder a medir el rendimiento en caliente del freno de servicio en condiciones iguales a las del ensayo tipo 0 y con motor desembragado.

### Ejemplo 1

Estudio para la definición de los frenos de servicio de un N3.

---

18 T	Masa máxima autorizada
5 m	Distancia del c.d.g entre ejes en vacío
2.03 m	a
2.97 m	b
1.5 T	Peso con caja / carga
4.63 T	Eje delantero
3.17 T	Eje trasero
1.1 m	Altura del centro de gravedad vacío
18 T	Peso cargado
6.5 T	Eje delantero
11.5 m	Eje trasero
5 m	Distancia del c.d.g entre ejes, cargado
3.194 m	a'
1.806 m	b'
1.9 m	Altura del centro de gravedad cargado
0.5 m	Radio del neumático

---

### Para el ensayo tipo 0

---

Velocidad baja	30 %
Velocidad alta	80 %
Pendiente	6 %
Velocidad media	30 km/h
Velocidad inicial	60 km/h
Desaceleración media	$\geq 5 \text{ m/s}^2$
Coefficiente de adherencia	0.65

---

En cualquier situación de carga considerando una coeficiente de adherencia del 0.3 por lo que  $r$ :

$$r = \frac{1.97 + 1.1 \cdot 0.3}{2.03 - 1.1 \cdot 0.3} = 1.94$$

$F$  Adherencia a partir de la cual puede presentarse bloqueo en las ruedas del vehículo.

$$F = \frac{1.94 \cdot 3.194 - 1.806}{(1.94 + 1) \cdot 1.9} = 0.786$$

Dado que el coeficiente de adherencia entre el neumático y el suelo es de  $F_0 = 0.65 < 0.786$ , se observa que  $F_2$  alcanzará su máximo en las ruedas traseras, mientras que las delanteras aprovecharán la adherencia máxima disponible de 0.65.

$$F_2 = \frac{0.65 \cdot 18.06}{1.94 \cdot 3.19 - 0.65 \cdot 2.94 \cdot 1.9} = 0.459$$

La desaceleración máxima en la siguiente ecuación 5.9 se obtiene sustituyendo los valores de  $F_1 = 0.65$  y  $F_2 = 0.459$  en:

$$J = \frac{F_1 \cdot b' + F_2 \cdot a'}{E - h'(F_1 - F_2) \cdot g} \quad (5.9)$$

$$J = \frac{0.65 \cdot 1.806 + 0.459 \cdot 3.19}{5 - 1.9(0.65 - 0.459) \cdot 9.81} = 5.58 \frac{m}{s^2}$$

Par máximo de frenada en  $F_1$  y  $F_2$  en la ecuación 5.10 siendo " $R''$ " la fuerza de la zapata la cual en general para vehículos pesado será de  $10^3 \cdot 0.5$  (Calle-Trujillo et al., 2003).

$$M = P \cdot R \frac{F_2(a' \cdot b' + F_2 \cdot a' \cdot h') \cdot (r + 1)}{(F_2)^2(r + 1)h'^2 + F_2 \cdot h'(E + b'(r + 1) + b' \cdot E)} \quad (5.10)$$

$$M = 18 \cdot 10^3 \cdot 0.5 \frac{0.459(3.19 \cdot 1.806 + 0.459 \cdot 3.19 \cdot 1.9)2.19}{0.459^2 \cdot 2.19 \cdot 1.9^2 + 0.459 \cdot 1.9(5 + 1.806 \cdot 2.19 + 1.806 \cdot 5)} = 5122 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Momentos por eje:

$$M_1 = M(r/r + 1)$$
$$5122 \left( \frac{1.94}{2.94} \right) = 3380 \text{ kg} \cdot \text{m}$$
$$M_2 = 1742 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

### 5.3.3. Constante de frenada y proporcionalidad

La “constante de freno” es un término que se utiliza en el contexto de la física y la ingeniería de vehículos para describir una medida de la eficacia de un sistema de frenado. Esta constante representa la relación entre la fuerza de frenado aplicada y la desaceleración resultante del vehículo. En términos más precisos, la constante de freno se define como la relación entre la fuerza de frenado aplicada al vehículo y la desaceleración resultante del vehículo, y se expresa comúnmente en unidades de desaceleración por unidad de fuerza (por ejemplo, metros por segundo al cuadrado por newton).

Una constante de freno más alta indica que el sistema de frenado puede generar una mayor desaceleración para una fuerza de frenado dada, lo que se traduce en una capacidad de frenado más efectiva. Por otro lado, una constante de freno más baja indica una menor eficacia del sistema de frenado.

Las constantes de proporcionalidad en el contexto de sistemas de frenos y el cálculo de frenado de vehículos pesados son factores que relacionan dos variables de manera lineal. En sistemas de frenado, estas constantes se utilizan para describir cómo una variable afecta a otra, proporcionando una forma de cuantificar la eficacia y el comportamiento del sistema de frenado. Algunas de las constantes de proporcionalidad más relevantes en este contexto son:

#### 5.3.3.1. Coeficiente de fricción $\mu$

El coeficiente de fricción es una constante que describe la relación entre la fuerza de fricción y la fuerza normal en la superficie de contacto entre los frenos y las ruedas. Se utiliza para calcular la

fuerza de frenado máxima disponible:

$$F_{\text{frenado}} = \mu \cdot F_{\text{normal}} \quad (5.11)$$

---

$F_{\text{frenado}}$  es la fuerza de frenado

Donde:  $\mu$  es el coeficiente de fricción

$F_{\text{normal}}$  es la fuerza normal (perpendicular) aplicada a la superficie de contacto

---

### 5.3.3.2. Constante de desaceleración $k$

La constante de desaceleración relaciona la fuerza de frenado aplicada con la desaceleración resultante del vehículo. Esta constante depende de la masa del vehículo y el coeficiente de fricción:

$$a = \frac{F_{\text{frenado}}}{m} = k \cdot F_{\text{frenado}} \quad (5.12)$$

---

$a$  es la desaceleración

Donde:  $F_{\text{frenado}}$  es la fuerza de frenado

$m$  es la masa del vehículo

$k$  constante de proporcionalidad (inversa a la masa)

---

### 5.3.3.3. Constante de frenado $b$

En algunos contextos, la constante de frenado puede referirse a un factor que relaciona la distancia de frenado con la velocidad inicial del vehículo. Es una medida de cómo varía la distancia de frenado con respecto a cambios en la velocidad:

$$d = b \cdot v^2 \quad (5.13)$$

---

$d$  es la desaceleración

Donde:  $b$  es la fuerza de frenado

$v$  es la masa del vehículo

---

### 5.3.3.4. Fuerza de frenado específica $k_f$

La fuerza de frenado específica es una constante que relaciona la presión aplicada en el sistema de frenado con la fuerza de frenado generada:

$$F_{\text{frenado}} = k_f \cdot p \quad (5.14)$$

---

Donde:  $k_f$  es la constante de proporcionalidad de la fuerza de frenado específica  
 $p$  es la presión aplicada en el sistema de frenado

---

### Ejemplo 1

Suponiendo que quiere calcular la distancia de frenado de un vehículo pesado que viaja a 80 km/h  $\rightarrow$  22.22 m/s con un coeficiente de fricción de 0.7 en una carretera seca. La masa del vehículo es de 20,000 kg.

Cálculo de la fuerza de frenado:

$$F_{\text{frenado}} = \mu \cdot m \cdot g$$

$$F_{\text{frenado}} = 0.7 \cdot 20,000 \cdot 9.81 = 137,340 \text{ N}$$

Cálculo de la desaceleración:

$$a = \frac{F_{\text{frenado}}}{m} = \frac{137,340}{20,000} = 6.867 \text{ m/s}^2$$

Cálculo de la distancia de frenado:

$$d = \frac{v^2}{2a} = \frac{(22.22)^2}{2 \cdot 6.867} = 35.96m$$

En este ejemplo, la distancia de frenado es de aproximadamente 36 metros.

## Ejemplo 2

Comprobar el estado de frenada de un vehículo 4x2 de 5 metros de distancia, con un radio de neumáticos de 0.5 m y con los siguientes datos.

Toneladas	Eje delantero	Eje trasero	Total
Camión vacío	5	4.55	9.55
Camión cargado	7.5	12	19.5

Peso vacío	a = 1.807m	b = 2.110m	h = 1.1m
Peso con carga	a' = 2.331m	b' = 1.235m	h' = 1.8m

Para  $r = 1.94$ :

$$F = \frac{a \cdot r - b}{(r + 1)h}$$

Vehículo vacío:

$$F = \frac{1.94 \cdot 1.807 - 2.110}{2.94 \cdot 1.1} = 0.431$$

Vehículo cargado:

$$F = \frac{1.94 \cdot 2.331 - 1.235}{2.94 \cdot 1.8} = 0.621$$

### Desaceleración, para máximo y presión empleada

Utilizando la adherencia máxima se obtiene la desaceleración, considerando un coeficiente de adherencia máxima de 0.65

**Vehículo vacío**

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot r \cdot a}{b + (F_2(r + 1)h)}$$

$$F_1 = \frac{0.65 \cdot 1.94 \cdot 1.807}{2.110 + 0.65 \cdot 2.94 \cdot 1.1} = 0.540$$

$$J = \frac{F_1 \cdot b + F_2 \cdot a}{E - h(F_1 - F_2)} \cdot g$$

$$J = \frac{0.540 \cdot 2.110 + 0.65 \cdot 1.807}{5 - 1.1(0.540 - 0.65)} = 4.394 \text{ m/s}^2$$

$$M = \frac{P}{g} \cdot J \cdot R$$

$$M = \frac{955}{9.81} \cdot 10^3 \cdot 439 \cdot 0.5 = 2136.8 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Reacción en el eje trasero  $N_2$  cuando  $J = 5.86m/s^2$

$$N_2 = P_2 - \frac{P \cdot J \cdot h}{g \cdot E}$$

$$N_2 = 4.55 \cdot 10^3 - \frac{9.55 \cdot 10^3 \cdot 4.394 \cdot 1.1}{9.81 \cdot 5} = 3608 \text{ kg}$$

### Vehículo cargado

Considerando  $F_2$  como  $5,122 \text{ kg} \cdot m$  y  $R$  como  $0.5$

$$M = P \cdot R \frac{F_2(a \cdot b + F_2 \cdot a \cdot h)(r + 1)}{(F_2)^2(r + 1)h^2 + F_2 \cdot h(E + h(r + 1)) + b \cdot E}$$

$$5,122 = 19.5 \cdot 10^3 \cdot 0.5 \frac{F_2(2.331 \cdot 1.235 + F_2 \cdot 2.331 \cdot 1.8)(2.94)}{(F_2)^2(2.94)1.8^2 + F_2 \cdot 1.8(5 + 1.8(2.94)) + 1.235 \cdot 5}$$

$$F_2 = 0.757$$

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot r \cdot a}{b + F_2(r + 1)h}$$

$$F_1 = \frac{0.757 \cdot 1.94 \cdot 2.331}{1.235 + 0.757(2.94)1.8} = 0.653$$

Desaceleración máxima:

$$J = \frac{F_1 \cdot b + F_2 \cdot a}{E - h(F_1 - F_2)} \cdot g$$

$$J = \frac{0.653 \cdot 1.235 + 0.757 \cdot 2.331}{5 - 1.8(0.653 - 0.757) \cdot 9.81} = 4.862 \text{ m/s}^2$$

### 5.3.4. Eficiencia de frenado en vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos utilizan un sistema de frenado que combina frenos convencionales con frenos regenerativos. Este enfoque mejora la eficiencia general del frenado y contribuye a la recuperación de energía que de otro modo se perdería como calor en los sistemas de frenado tradicionales (Larminie & Lowry, 2012).

#### 5.3.4.1. Frenos regenerativos

Los frenos regenerativos funcionan utilizando el motor eléctrico del vehículo como un generador durante el frenado. Cuando el conductor aplica los frenos, el motor eléctrico invierte su función y comienza a generar electricidad en lugar de consumirla. Esta electricidad generada se almacena en la batería del vehículo (Guerra et al., 2022).

- **Aplicación del Frenado:** Al aplicar los frenos, el motor eléctrico cambia de modo. De motor a generador.
- **Generación de Energía:** En lugar de consumir energía para mover el vehículo, el motor genera energía a partir del movimiento del vehículo.
- **Almacenamiento de Energía:** La energía generada se convierte en electricidad que se almacena en la batería del vehículo, mejorando la eficiencia energética.

#### 5.3.4.2. Frenos Convencionales

Los frenos regenerativos en los vehículos eléctricos se combinan con frenos convencionales (discos o tambores) para proporcionar una potencia de frenado completa. Los frenos convencionales se activan

cuando:

- Se requiere una desaceleración más rápida de la que los frenos regenerativos pueden proporcionar.
- La batería está completamente cargada y no puede aceptar más energía regenerativa.
- El vehículo está casi detenido, donde la eficiencia de los frenos regenerativos es menor.

#### **5.3.4.3. Combinación de sistemas**

- Frenado Regenerativo Primario: En la mayoría de las situaciones, el frenado regenerativo se utiliza primero para desacelerar el vehículo y recuperar energía.
- Frenado Convencional Secundario: Si se necesita una fuerza de frenado adicional, los frenos convencionales se activan automáticamente (Guerra et al., 2022).

#### **5.3.4.4. Beneficios de la combinación**

- Eficiencia Energética: El frenado regenerativo mejora la eficiencia energética al recuperar parte de la energía cinética del vehículo.
- Menor Desgaste: Los frenos convencionales se utilizan menos, lo que reduce el desgaste y prolonga la vida útil de los componentes del frenado.
- Desempeño Mejorado: La combinación de ambos sistemas asegura un rendimiento de frenado óptimo en todas las condiciones de conducción.

#### **5.3.4.5. Desafíos**

- Gestión de Energía: Se requiere una sofisticada gestión de energía para optimizar la cantidad de energía recuperada y almacenada.
- Integración de Sistemas: La integración efectiva de frenos regenerativos y convencionales necesita un control preciso para garantizar una transición suave y eficiente entre ambos sistemas.

- Eficiencia de Baja Velocidad: Los frenos regenerativos son menos eficientes a velocidades muy bajas, por lo que los frenos convencionales son esenciales para detener completamente el vehículo.

La eficiencia de frenado en los vehículos eléctricos se maximiza mediante la combinación de frenos regenerativos y convencionales. Los frenos regenerativos recuperan energía cinética, mejorando la eficiencia energética y reduciendo el desgaste de los frenos convencionales. Este sistema integrado asegura un frenado seguro y eficaz, contribuyendo al rendimiento general y la sostenibilidad de los vehículos eléctricos.

# Capítulo 6

## Combustibles

Un combustible es una sustancia que, al reaccionar con otra (generalmente oxígeno), libera energía en forma de calor. Esta energía se puede convertir en movimiento, electricidad o calor para diversos usos. Por otra parte, la búsqueda de combustibles más sostenibles y con menor impacto ambiental es un desafío importante para el futuro. Los biocombustibles, el hidrógeno y los e-fuels son algunas de las alternativas que se están desarrollando para reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles (García San José, 2001).

Los combustibles son esenciales para el funcionamiento de una gran variedad de sistemas, incluyendo:

- Motores de combustión interna: En vehículos, aviones y barcos, los combustibles como la gasolina y el diésel se queman para generar el movimiento necesario para su funcionamiento.
- Centrales eléctricas: El carbón, el gas natural y los biocombustibles se utilizan para generar electricidad en las centrales eléctricas.
- Calefacción: El calor liberado por la combustión como el gas natural o el propano se utiliza para brindar calefacción en hogares y edificios.
- Procesos industriales: En la industria, los combustibles se utilizan en procesos como la fabricación de acero, cemento y productos químicos.

## 6.1. Categorización

Los combustibles pueden categorizarse de diversas maneras según su origen, estado físico, y su impacto ambiental. A continuación, se presenta una categorización general:

### 6.1.1. Por Origen

#### Combustibles Fósiles:

- Petróleo: Incluye gasolina, diésel, queroseno, y fuel oil.
- Gas Natural: Gas natural comprimido (GNC) y gas licuado del petróleo (GLP).
- Carbón: Utilizado principalmente en la generación de electricidad y en procesos industriales.

#### Combustibles Renovables:

- Biocombustibles: Bioetanol, biodiésel, biogás.
- Hidrógeno: Puede ser producido a partir de fuentes renovables como la electrólisis del agua utilizando energía solar o eólica.

### 6.1.2. Por Estado Físico

#### Combustibles Líquidos:

- Gasolina
- Diésel
- Bioetanol
- Biodiésel
- Queroseno

**Combustibles Gaseosos:**

- Gas Natural Comprimido (GNC)
- Gas Licuado del Petróleo (GLP)
- Hidrógeno
- Biogás

**Combustibles Sólidos:**

- Carbón
- Biomasa: Madera, pellets, residuos agrícolas.

**6.1.3. Por Impacto Ambiental****Combustibles de Alta Emisión de CO<sub>2</sub>:**

- Carbón
- Petróleo y sus derivados

**Combustibles de Menor Emisión de CO<sub>2</sub>:**

- Gas Natural
- GLP

**Combustibles de Baja o Cero Emisión de CO<sub>2</sub>:**

- Biocombustibles: Bioetanol, biodiésel.
- Hidrógeno (especialmente si es producido a partir de fuentes renovables).
- E-Fuels: Combustibles sintéticos producidos a partir de CO<sub>2</sub> y agua utilizando energía renovable.

### 6.1.4. Por Tecnología de Uso

#### Motores de Combustión Interna:

- Gasolina
- Diésel
- Bioetanol
- Biodiésel

#### Celdas de Combustible:

- Hidrógeno
- Metanol

#### Generación de Electricidad:

- Carbón
- Gas Natural
- Biomasa

### 6.1.5. Ejemplos de Combustibles y sus Categorías

- Gasolina: Combustible fósil, líquido, alta emisión de CO<sub>2</sub>, usado en motores de combustión interna.
- Diésel: Combustible fósil, líquido, alta emisión de CO<sub>2</sub>, usado en motores de combustión interna.
- GNC (Gas Natural Comprimido): Combustible fósil, gaseoso, menor emisión de CO<sub>2</sub>, usado en motores de combustión interna.
- GLP (Gas Licuado del Petróleo): Combustible fósil, gaseoso, menor emisión de CO<sub>2</sub>, usado en motores de combustión interna.

- Bioetanol: Biocombustible, líquido, baja emisión de CO<sub>2</sub>, usado en motores de combustión interna.
- Biodiésel: Biocombustible, líquido, baja emisión de CO<sub>2</sub>, usado en motores de combustión interna.
- Hidrógeno: Combustible renovable, gaseoso, cero emisión de CO<sub>2</sub>, usado en celdas de combustible.

## 6.2. Combustibles tradicionales y fósiles

Los motores de combustión interna impulsan gran parte de nuestro mundo, desde autos y camiones hasta maquinaria pesada. Y para que estos motores funcionen, necesitamos combustible. Los dos tipos más comunes son la gasolina y el diésel (Torres, 1999).

- La gasolina: Reina suprema en los motores de ciclo Otto, como los de los autos ligeros. Es altamente refinada, perfecta para motores de alto rendimiento y ofrece mucha potencia gracias a su alto poder calorífico.
- El diésel: El rey de los motores de ciclo Diesel, lo encontramos en camiones, autobuses y vehículos pesados. Es más eficiente que la gasolina y genera mayor torque a bajas revoluciones, ideal para el trabajo duro.

### 6.2.1. Gasoil

Un detalle técnico es el de aclarar que el combustible que se utiliza en los vehículos pesados se llama Gasoil, aunque comúnmente se le ha llamado diésel, principalmente en Estados Unidos debido al nombre del ingeniero que inventó el motor “Diesel”, Rudolf Diesel. Los vehículos pesados utilizan este tipo de combustible en lugar de gasolina por varias razones técnicas y económicas. Aquí te explico los principales motivos:

Los vehículos pesados emplean motores diésel en lugar de motores de gasolina debido a varias razones técnicas y económicas. Los motores diésel son más eficientes térmicamente gracias a su alta relación

de compresión, lo que permite convertir una mayor parte de la energía del combustible en trabajo útil. Esto se traduce en un menor consumo de combustible para generar la misma cantidad de energía, reduciendo significativamente los costos operativos en vehículos que recorren largas distancias. Además, los motores diésel producen un mayor torque a bajas revoluciones, ideal para vehículos pesados que requieren mucha fuerza para arrancar y mover grandes cargas. Estos motores también son más duraderos y pueden soportar mayores fuerzas internas, haciéndolos aptos para uso continuo y cargas pesadas en camiones, autobuses y maquinaria industrial. Históricamente, el costo del diésel ha sido más bajo que el de la gasolina, y los motores diésel requieren menos mantenimiento, traduciéndose en menores costos y menos tiempo de inactividad (Watson et al., 1994). Aunque los motores diésel emiten más óxidos de nitrógeno y partículas, las tecnologías modernas como los filtros de partículas diésel y los sistemas de reducción catalítica selectiva han mejorado significativamente sus emisiones. En aplicaciones específicas como camiones de carga, autobuses y maquinaria agrícola, la robustez y eficiencia de los motores diésel los hacen más adecuados para operar de manera confiable bajo condiciones exigentes.

## 6.3. Combustibles alternativos

Si bien el diésel es fundamental para el transporte pesado, su combustión genera emisiones contaminantes. Para contrarrestar esto, se utiliza un aditivo llamado urea (AdBlue) en un sistema llamado SCR (Demir et al., 2022). La urea transforma los gases de óxido de nitrógeno NO<sub>x</sub> en gases menos dañinos, como el nitrógeno y el agua siendo hoy en día un elemento indispensable para los motores diésel, más adelante se detallará más sobre el tema. La búsqueda de combustibles más limpios ha llevado al desarrollo de alternativas a los fósiles tradicionales. Entre ellas encontramos:

### 6.3.1. Biocombustibles

- Bioetanol: Este biocombustible se produce a partir de azúcares y almidones fermentados. Se mezcla con gasolina (E10, E85) para reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y es una fuente de energía renovable (Goñi-Delió & Rojas-Delgado, 2014).

- Biodiésel: Derivado de aceites vegetales o grasas animales, puede usarse puro (B100) o mezclado con diésel fósil (B20, B5). El biodiésel reduce las emisiones de partículas y CO<sub>2</sub> (Benavides et al., 2007).

### 6.3.2. Gases: GNC y GLP

El Gas Natural Comprimido GNC y el Gas Licuado de petróleo GLP representan opciones viables y más limpias frente a los combustibles fósiles tradicionales. Cada uno tiene sus ventajas y desventajas en términos de densidad energética, infraestructura y costos. La elección entre GNC y GLP puede depender de factores como la disponibilidad de infraestructura, los costos regionales y las necesidades específicas de uso (Romero Paredes & Ambriz, 2003).

Los gases también juegan un papel importante en la escena de los combustibles:

- Gas Natural Comprimido (GNC): Utilizado en motores adaptados, el GNC emite menos CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que los combustibles fósiles líquidos. Es popular en flotas de autobuses y vehículos urbanos.
- Gas Licuado de Petróleo (GLP): También conocido como autogas, es una mezcla de propano y butano. Emite menos contaminantes que la gasolina y el diésel, y se utiliza en vehículos convertidos o diseñados específicamente para GLP.

### 6.3.3. Diesel Exhaust Fluid

AdBlue, conocido también como Diesel Exhaust Fluid (DEF), es una solución compuesta por un 32.5% de urea de alta pureza y un 67.5% de agua desionizada, utilizada en sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR) para disminuir las emisiones de NO<sub>x</sub> en motores diésel. Este líquido se inyecta en el sistema de escape antes del catalizador SCR, donde se descompone térmicamente en amoníaco (NH<sub>3</sub>) y CO<sub>2</sub> al entrar en contacto con los gases de escape calientes. El amoníaco resultante reacciona con los NO<sub>x</sub> en el catalizador, transformándolos en nitrógeno (N<sub>2</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>O), gases inocuos para el medio ambiente (Liao et al., 2015).

El AdBlue es esencial en diversos sectores como vehículos comerciales pesados (camiones, autobuses y vehículos industriales), vehículos de pasajeros modernos que cumplen con normativas Euro 6 y posteriores, y maquinaria agrícola y de construcción (tractores y maquinaria pesada) (Ventura, 1979). Su importancia radica en ayudar a cumplir estrictas normativas de emisiones, reducir significativamente la contaminación atmosférica al disminuir la emisión de NO<sub>x</sub>, mejorar la calidad del aire en áreas urbanas y rurales, y permitir que los motores diésel operen de manera más eficiente y a temperaturas más altas 6.1.

El uso de AdBlue es crucial para cualquier vehículo o maquinaria equipada con un sistema SCR. Los casos típicos de aplicación incluyen el transporte de mercancías, el transporte público, la maquinaria agrícola y la construcción. Los vehículos con sistemas SCR tienen un depósito específico para AdBlue que necesita ser recargado regularmente. Los sistemas modernos monitorean el nivel de AdBlue y alertan al conductor cuando es necesario rellenar el depósito, disponible en estaciones de servicio, talleres de mantenimiento y tiendas especializadas.



Figura 6.1: Ejemplo de despacho de AdBlue

## 6.4. El Futuro: Hidrógeno, E-Fuels

Tanto el hidrógeno como los E-Fuels representan alternativas prometedoras a los combustibles fósiles tradicionales, cada uno con sus propias ventajas y desafíos. El hidrógeno ofrece la posibilidad de cero emisiones en el punto de uso y alta densidad energética por masa, pero enfrenta desafíos significativos en almacenamiento y transporte (Sáinz Casas, 2016). Los E-Fuels, por otro lado, ofrecen una solución más directa en términos de compatibilidad con la infraestructura y motores existentes,

aunque a un costo energético y económico mayor en la etapa de producción. La transición a estos combustibles alternativos dependerá de avances tecnológicos, reducción de costos y el desarrollo de la infraestructura necesaria (Lindstad et al., 2021).

La innovación en combustibles para motores de combustión interna no se detiene:

- Hidrógeno: El hidrógeno solo emite vapor de agua al quemarse, lo que lo convierte en una de las opciones más limpias. Se puede usar tanto en motores de combustión interna como en celdas de combustible.
- E-Fuels: Estos combustibles sintéticos se producen capturando CO<sub>2</sub> y utilizando electrólisis para separarlo del agua. Ofrecen una solución de carbono neutral y pueden usarse en motores de combustión interna existentes.

#### **6.4.1. Tecnologías Emergentes**

Dos nuevas tecnologías prometedoras en el panorama de los combustibles (Urien, 2013):

- Biometano: Producido a partir de residuos orgánicos mediante digestión anaeróbica, es una fuente de energía renovable que puede reemplazar al gas natural en motores adaptados.
- Aceite de Pirolisis: Derivado de la descomposición térmica de biomasa, puede ser utilizado en motores diésel con ciertas modificaciones.



# Capítulo 7

## Consideraciones Iniciales en Vehículos Eléctricos

Los vehículos eléctricos (VE) han revolucionado la industria automotriz, ofreciendo una alternativa más limpia y eficiente a los vehículos con motores de combustión interna. Este capítulo examina en detalle los sistemas motrices de los VE, incluyendo sus componentes clave, cálculos de eficiencia energética, innovaciones y desafíos actuales. Se presentan también ejemplos de cálculos y análisis técnico para proporcionar una comprensión más profunda de su ingeniería.

### 7.1. Sistemas Motrices en Vehículos Eléctricos

Los sistemas motrices de los vehículos eléctricos son la base de su funcionamiento y eficiencia. Estos sistemas se componen principalmente de los siguientes componentes:

- **Motor Eléctrico:** Los motores eléctricos en VE pueden ser de corriente alterna (AC) o corriente continua (DC). Los motores AC, como los motores de inducción y síncronos de imanes permanentes, son más comunes debido a su mayor eficiencia y fiabilidad. Los motores DC, aunque menos comunes, se utilizan en algunas aplicaciones específicas por su control más simple y bajo costo inicial.
- **Inversor:** El inversor convierte la corriente continua (DC) almacenada en la batería a corriente

alterna (AC) para alimentar el motor eléctrico. Este componente es crucial para la eficiencia del sistema, ya que debe minimizar las pérdidas durante la conversión de energía. La eficiencia de un inversor ( $\eta_{inv}$ ) puede ser del 90-95 % en aplicaciones modernas.

- **Batería:** Las baterías de iones de litio son las más comunes en los VE debido a su alta densidad energética y ciclo de vida relativamente largo. Las especificaciones clave de una batería incluyen la capacidad (kWh), la densidad energética (Wh/kg) y la potencia máxima de descarga. La capacidad de la batería determina la autonomía del vehículo, mientras que la densidad energética afecta directamente al peso total del vehículo.
- **Sistema de Gestión de Energía (EMS):** El EMS es responsable de la monitorización y control del flujo de energía entre la batería, el motor y otros componentes del vehículo. Este sistema optimiza la eficiencia energética y la vida útil de la batería al gestionar parámetros como la carga y descarga, temperatura de la batería y el equilibrio de celdas.

### 7.1.1. Ejemplo de Cálculo de Eficiencia Total:

Para un VE con una batería con una eficiencia del 95 %  $\eta_{bat}$ , un inversor con una eficiencia del 92 %  $\eta_{inv}$ , y un motor con una eficiencia del 94 %  $\eta_{mot}$ , la eficiencia total del sistema  $\eta_{total}$  es:

$$\eta_{total} = \eta_{bat} \times \eta_{inv} \times \eta_{mot}$$

Sustituyendo los valores:

$$\eta_{total} = 0.95 \times 0.92 \times 0.94$$

Calculando el resultado:

$$\eta_{total} \approx 0.82 \text{ (82 \%)}$$

Visualmente, la ecuación completa se vería así:

$$\eta_{\text{total}} = \eta_{\text{bat}} \times \eta_{\text{inv}} \times \eta_{\text{mot}} = 0.95 \times 0.92 \times 0.94 \approx 0.82 \text{ (82\%)}$$

Esto indica que la eficiencia total  $\eta_{\text{total}}$  del sistema es aproximadamente el 82 %.

## 7.2. Eficiencia Energética en Vehículos Eléctricos

La eficiencia energética de los vehículos eléctricos es un factor crítico para su desempeño y autonomía. A diferencia de los vehículos con motor de combustión interna, que convierten solo entre el 20 % y el 30 % de la energía contenida en el combustible en trabajo útil (debido a pérdidas térmicas, mecánicas y por fricción), los VE pueden alcanzar eficiencias de conversión del 80 % al 90 %. Esta elevada eficiencia se debe principalmente a la menor cantidad de componentes móviles en los motores eléctricos, a la capacidad de recuperar energía mediante el frenado regenerativo y a una gestión más precisa del flujo energético a través de sistemas de control avanzados. Además, la eficiencia energética de los VE no solo mejora su autonomía, sino que también reduce significativamente los costos operativos por kilómetro recorrido, lo que representa una ventaja sustancial para aplicaciones comerciales e industriales.

### 7.2.1. Factores que Afectan la Eficiencia Energética:

**Resistencia Aerodinámica:** La resistencia aerodinámica es proporcional al cuadrado de la velocidad del vehículo. La eficiencia aerodinámica se puede mejorar mediante un diseño de carrocería optimizado, utilizando materiales ligeros y formas aerodinámicas. La fórmula para calcular la fuerza de resistencia aerodinámica ( $F_{\text{aero}}$ ) es:

$$F_{\text{aero}} = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

donde  $C_d$  es el coeficiente de arrastre,  $\rho$  es la densidad del aire,  $A$  es el área frontal del vehículo y  $v$  es la velocidad.

**Resistencia por Rodadura:** La resistencia por rodadura depende de la calidad de los neumáticos y el estado de la carretera. Se calcula como:

$$F_{\text{rod}} = C_r \cdot m \cdot g$$

donde  $C_r$  es el coeficiente de resistencia a la rodadura,  $m$  es la masa del vehículo y  $g$  es la aceleración debida a la gravedad.

**Frenado Regenerativo:** Los VE utilizan sistemas de frenado regenerativo para recuperar energía durante las deceleraciones, convirtiéndola de nuevo en energía almacenada en la batería. Esto no solo mejora la eficiencia energética sino que también reduce el desgaste de los frenos convencionales.

### Ejemplo de Cálculo de Eficiencia Energética:

Para un VE con una eficiencia de frenado regenerativo del 70 % ( $\eta_{\text{regen}}$ ) y una distancia de frenado de 100 metros desde una velocidad de 60 km/h, la energía recuperada ( $E_{\text{regen}}$ ) es:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} mv^2$$

$$E_{\text{regen}} = \eta_{\text{regen}} \times E_{\text{kin}}$$

## 7.2.2. Innovaciones y Desafíos

Los avances tecnológicos en los VE continúan mejorando su rendimiento, eficiencia y viabilidad comercial. Algunas de las innovaciones recientes incluyen:

- **Baterías de Estado Sólido:** Estas baterías ofrecen mayor densidad energética y seguridad en comparación con las baterías de iones de litio tradicionales. Sin embargo, los desafíos en la producción en masa y los costos siguen siendo barreras significativas.
- **Motores de Reluctancia Conmutada:** Este tipo de motor ofrece una alta eficiencia y robustez, especialmente en aplicaciones de alta velocidad. Su control complejo y el ruido acústico son aspectos a mejorar.

- **Sistemas de Carga Rápida:** Las estaciones de carga rápida pueden recargar una batería de VE al 80 % en 20-30 minutos. La infraestructura de carga rápida es crucial para la adopción generalizada de VE, pero requiere inversiones significativas y planificación urbana adecuada.

#### **7.2.2.1. Desafíos Actuales:**

- **Autonomía y Tiempo de Recarga:** Aunque la autonomía de los VE ha mejorado significativamente, aún es un desafío en comparación con los vehículos de combustión interna. Los tiempos de recarga largos también limitan la conveniencia para los usuarios.
- **Costo de Baterías:** A pesar de la disminución de los costos de las baterías, siguen siendo el componente más caro de los VE. La investigación en materiales alternativos y tecnologías de reciclaje de baterías es crucial para reducir estos costos.
- **Infraestructura de Carga:** La disponibilidad y accesibilidad de estaciones de carga sigue siendo un desafío, especialmente en áreas rurales y en países en desarrollo.



# Apéndices

## A. Sistematización de vehículos

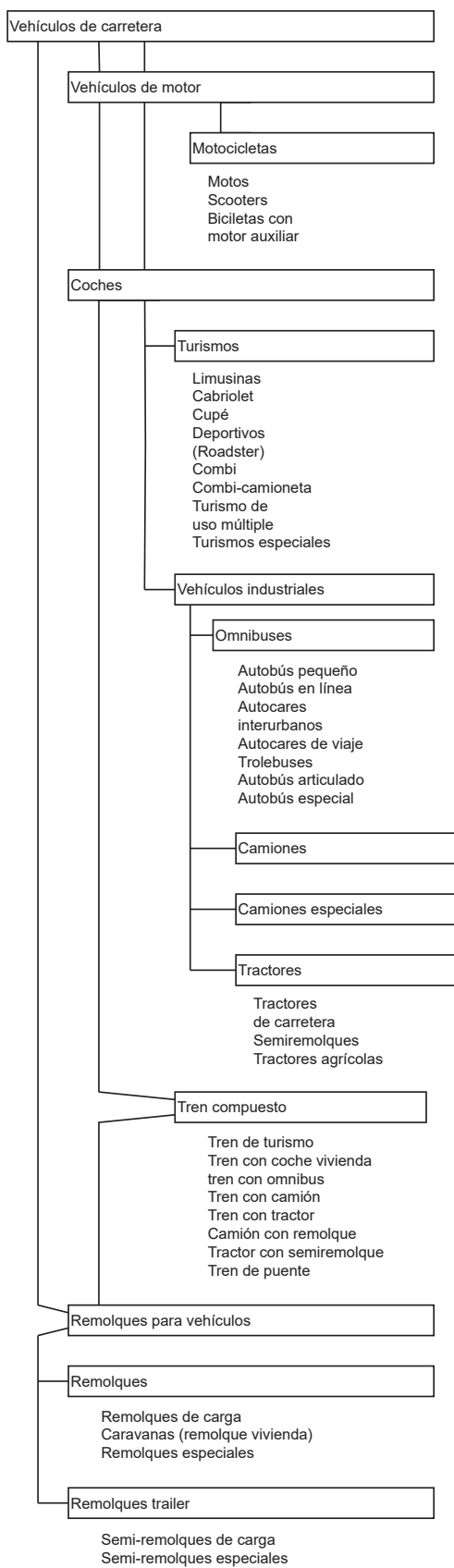


Figura 1: Sistematización de vehículos (ISO 3833:1977)

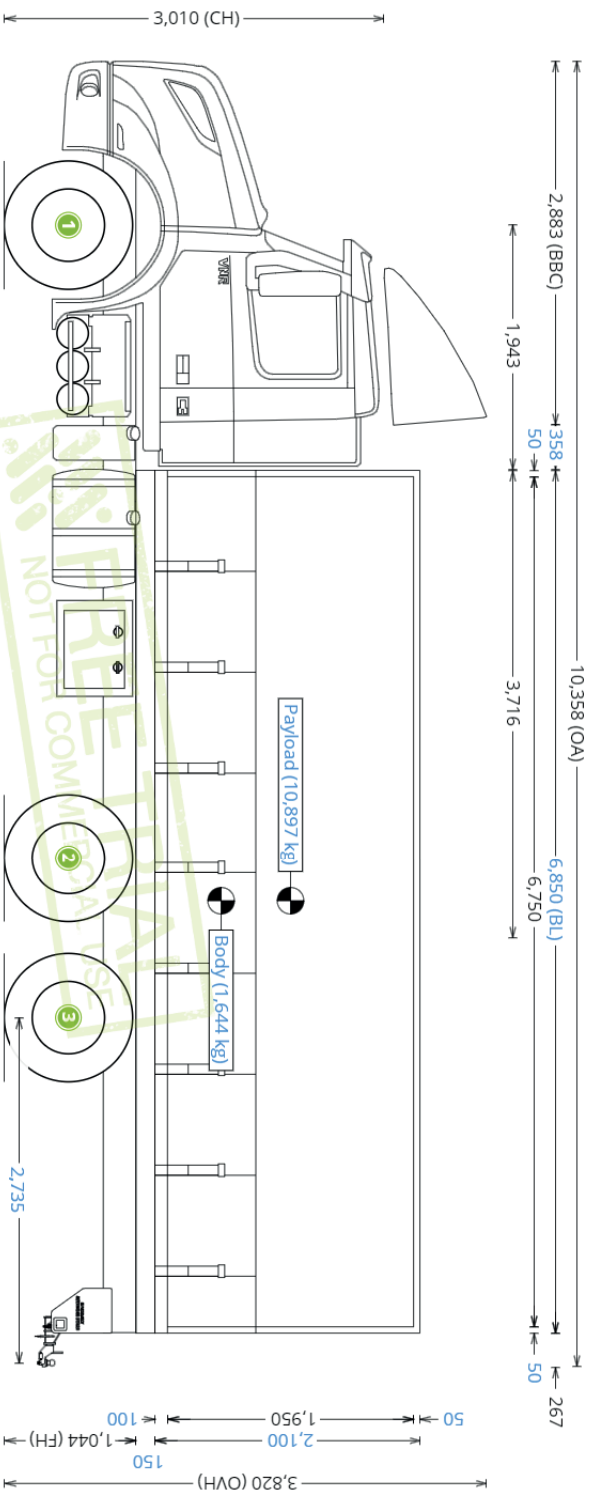
## **B. Volvo VNR 300**



YOUR LOGO HERE

Volvo VNR 300

Configuration  
Weights & Dimensions - Vehicle (Side)



Dashboard	
Manufacturer's Limits	✓
Regulatory Compliance	✓
Organization Standards	✓
Gross Weight on Vehicle Front (%)	25.1 %

Vehicle	Front (1)	Rear (2 - 3)	Total
Chassis Weight	4,247 kg	3,243 kg	7,491 kg
Fuel & Crew	251 kg	149 kg	401 kg
Curtainside Template	84 kg	1,560 kg	1,644 kg
Sample Toolbox	18 kg	27 kg	45 kg
Sample AeroKit (Cab Only)	29 kg	6 kg	35 kg
Bartlett BT620 (50mm Ball)	-35 kg	101 kg	65 kg
Vehicle Unladen Weight	4,595 kg	5,085 kg	9,681 kg

\* Refer to subsequent pages for notes and warnings

Prepared By: hector alonso b...  
Signature: \_\_\_\_\_  
Date: \_\_\_\_\_

Phone: \_\_\_\_\_  
Signature: \_\_\_\_\_  
Date: \_\_\_\_\_

Prepared For: Hector  
Phone: Bentizez  
Signature: \_\_\_\_\_  
Date Created: May 26, 2024  
Page: 1 of 3

DISCLAIMER: Information in this report is based on estimates only and should not be regarded as conclusive and complete. The originator and supplier of this report do not guarantee the accuracy or completeness of the information, and the recipient of the information uses it at their own risk. No legal responsibility or liability is accepted, warranted or implied in respect of any errors, omissions or inaccuracies.





YOUR LOGO HERE

Volvo VNR 300

Configuration  
Weight & Center of Gravity

Significant Dimensions

Technical Wheelbase	5,659 mm
Track Width - Front	0 mm
Track Width - Rear	0 mm

Center of Gravity & Weight Distribution - Vehicle

Description	Horizontal CG *	Vertical CG *	Lateral CG *	Front	Rear	Total
Volvo VNR 300	2,450 mm	944 mm	0 mm	4,247 kg	3,243 kg	7,491 kg
Fuel Tank 1	2,413 mm	724 mm	-486 mm	178 kg	132 kg	310 kg
Crew 1st Row	1,067 mm	1,651 mm	0 mm	74 kg	17 kg	91 kg
Curtainside Template	5,368 mm	1,719 mm	0 mm	84 kg	1,560 kg	1,644 kg
Sample Toolbox	3,354 mm	717 mm	0 mm	18 kg	27 kg	45 kg
Sample AeroKit (Cab Only)	962 mm	3,415 mm	0 mm	29 kg	6 kg	35 kg
Bartlett BT620 (50mm Ball)	8,724 mm	489 mm	-1 mm	-35 kg	101 kg	65 kg
Payload	5,368 mm	2,259 mm	0 mm	560 kg	10,337 kg	10,897 kg
<b>Total</b>	<b>4,241 mm</b>	<b>1,710 mm</b>	<b>-7 mm</b>	<b>5,155 kg</b>	<b>15,422 kg</b>	<b>20,578 kg</b>

\* Horizontal CG is measured from Technical Wheelbase start; Vertical CG is measured from the ground; Lateral CG from the center

Prepared By: hector alonso b...      Phone: Benitez  
Prepared For: Hector      Phone: Benitez

Date Created: May 26, 2024  
Page: 2 of 3





# Bibliografía

- Alcázar-Vargas, M. G., Pérez Fernández, J., Carabias-Acosta, E., Cabrera-Carrillo, J. A., & Castillo-Aguilar, J. J. (2021). Estimación de la Resistencia a la Rodadura en Neumáticos Mediante Banco de Ensayos de Tracción-Compresión [Artículo técnico publicado por la Asociación Española de Ingenieros Mecánicos]. *Revista Técnica AEIM*.
- Anónimo. (2015, noviembre). *Partes principales del motor* [Presentación en línea]. Consultado el 5 de mayo de 2024, desde <https://es.slideshare.net/slideshow/partes-principales-del-motor/55374891>
- Anónimo. (2023, agosto). *Sistemas de transmisión* [Presentación en línea]. Consultado el 19 de junio de 2024, desde <https://es.slideshare.net/slideshow/sistemas-de-transmision-03pptx/260185050>
- Aprende Institute. (2023, noviembre). *Cajas de cambios de un auto y un camión: funcionamiento* [Artículo en línea]. Consultado el 22 de mayo de 2024, desde <https://aprende.com/blog/oficios/mecanica-automotriz/funcionamiento-de-las-cajas-de-cambios-de-un-auto-comun-y-de-un-camion>
- Automotriz, I., & Automotriz, M. (2020a). ¿Qué es la transmisión CVT y cómo funciona? [Artículo en línea, consultado en marzo de 2020]. *Ingeniería y Mecánica Automotriz*. <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-la-transmision-cvt-y-como-funciona>
- Automotriz, I., & Automotriz, M. (2020b). ¿Qué es el freno de motor Jacobs y cómo funciona? [Artículo en línea, consultado en junio de 2020]. *Ingeniería y Mecánica Automotriz*. <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-freno-de-motor-jacobs-y-como-funciona>

- Bardera Mora, R. (2006). *Aplicación del PIV a la Medida del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica*. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones.
- Benavides, A., Benjumea, P., & Pashova, V. (2007). El Biodiésel de Aceite de Higuera como Combustible Alternativo para Motores Diésel. *Dyna*, 74(153), 141-150.
- Bennett, S. (2006, noviembre). *Modern Diesel Technology: Brakes, Suspension and Steering*. Cengage Learning.
- Blackwolf México. (2023, abril). *Deflector de viento para camiones de fibra de vidrio* [Página web de producto]. Consultado el 27 de mayo de 2024, desde <https://blackwolf.com.mx/deflector-de-viento-para-camiones-de-fibra-de-vidrio>
- Borja, J. C., Fenoll, J., & Seco de Herrera, J. (2009). *Sistema de Transmisión y Frenado*. Macmillan Iberia, S.A.
- Calle-Trujillo, G., Piedrahita, C. A. R., & Arias, A. D. (2003). Sobre la distribución de la presión a lo largo de la banda de un freno de tambor y zapata [Artículo técnico en español]. *Scientia et Technica*, 2(22), 93-98.
- Carrascosa, J. (2019). Distancia de recorrido y tiempo de frenado [Artículo de divulgación científica]. *Boletín de la Real Sociedad Española de Física*.
- Carrillo, J. A. C. (2004). Simulación en banco de ensayos de sistemas inteligentes de frenado [Disponible en Dialnet]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=235248>
- Colaboradores de los proyectos Wikimedia. (2024, marzo). *Autobús - Wikipedia, la enciclopedia libre* [Artículo en línea, consultado el 2 de abril de 2024]. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Autob%C3%BAsolidid=158953718>
- Condarco, P. (2016). Análisis y procedimiento para un estudio de cargas por eje [Artículo técnico-jurídico]. *La Ley*, 20, 50.
- De Castro, A. (1852). *Gran diccionario de la lengua española*. Oficinas y Establecimiento Tipográfico del Semanario Pintoresco.
- Decorados Moya. (2024, enero). *¿Qué función tiene el sistema de transmisión en el camión o tráiler?* [Artículo en línea]. Consultado el 21 de mayo de 2024, desde <https://decoradosmoya.es/que-funcion-tiene-el-sistema-de-transmision-en-el-camion-o-trailer>

- Demir, U., Kozan, A., & Özer, S. (2022). Experimental Investigation of the Effect of Urea Addition to Fuel on Engine Performance and Emissions in Diesel Engines. *Fuel*, 311, 122578. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122578>
- Diario de Transporte. (2022). Continental prueba con un vehículo sin conductor el rendimiento de frenada de los neumáticos. Fotos [Artículo en línea, consultado en mayo de 2022]. *Diario de Transporte*. <https://www.diariodetransporte.com/articulo/comunicados-de-prensa/continental-prueba-con-un-vehiculo-sin-conductor-el-rendimiento-de-frenada-de-los-neumaticos-fotos/20220502145441038141.html>
- Dietsche, K.-H. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. Reverté.
- Echaveguren, T., Arellano, D., Hacar, F., Jönsson, J., Vigne, G., Ramírez, R., Gámez, A., Pérez, H., Chagoyén, E., & Marcus, J. (2015). Análisis Estadístico de la Velocidad de Operación de Vehículos Pesados en Pendientes Ascendentes [Artículo técnico, fuente no especificada]. *Revista de Transporte y Logística*.
- Enebral, Á. J. S. (2020). Diagnóstico de chasis de camiones. *Cesvimap: Publicación técnica del Centro de Experimentación y Seguridad Vial Mapfre*, 27(111), 36-38.
- Fabela Gallegos, M. J., Vázquez Vega, D., Sanchez Vela, L. G., Flores Centeno, O., Hernandez Jimenez, J. R., & Cruz Acevedo, M. E. (2019). Análisis de la capacidad de arranque en pendiente de vehículos pesados considerados en la Norma Oficial Mexicana de pesos y dimensiones [Documento técnico normativo]. *Publicación Técnica*, (542).
- Federal, G. (2000). *Norma Oficial Mexicana NOM-068-SCT-2-2000: Transporte Terrestre - Servicio de Autotransporte Federal de Pasaje, Turismo, Carga y Transporte Privado - Condiciones Físico-Mecánicas y de Seguridad para la Operación en Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal* [Disponible en línea].
- Feldman, B. J. (2008). The Hybrid Automobile and the Atkinson Cycle. *The Physics Teacher*, 46(7), 420-422.
- Fischer, R., Küçükay, F., Jürgens, G., Najork, R., & Pollak, B. (2015). *The Automotive Transmission Book*. Springer.
- Fraija, I. (2006). Estudio de la Aerodinámica en los Vehículos. *Prospectiva*, 4(2), 66-70.

- Ganesan, V. (2004). *Internal Combustion Engines*. McGraw-Hill.
- García Martín, D. (2010). Estudio de la Capacidad Aerodinámica de Carrocerías de Vehículos Categoría CM [Documento sin publicación formal].
- García San José, R. (2001). Combustión y Combustibles [Documento académico no publicado en revista].
- Gaviria-Ríos, J. E., Mora-Guzmán, J. H., & Agudelo, J. R. (2002). Historia de los motores de combustión interna [Artículo en español]. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (26), 68-78.
- Gillespie, T. (2021). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. SAE International.
- Gómez, F. (2021). Dimensiones del Embrague del Volkswagen Golf 1.9 TDI 105 CV [Artículo técnico, número y páginas no especificados]. *Revista Técnica Automotriz*.
- Goñi-Delión, J. C., & Rojas-Delgado, M. (2014). Combustibles Alternativos en Motores de Combustión Interna. *Ingeniería Industrial*, (032), 199-299.
- Guerra, S. A. C., Correa, L. A. S., & Maigua, D. P. P. (2022). Eficiencia del sistema de frenos en vehículos eléctricos [Artículo académico en español]. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 7(10), 1743-1760.
- Hege, J. B. (2006). *The Wankel Rotary Engine: A History*. McFarland.
- Henao-Castañeda, É., Romero-Piedrahíta, C., & Monroy-Jaramillo, M. (2018). Ciclo Atkinson: una alternativa para mejorar la eficiencia en motores de combustión interna [Disponible en línea]. *Revista UIS Ingenierías*, 18(2), 167-176. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n2-2019016>
- Heywood, J. B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill.
- Hyundai Camiones. (2024, abril). *Hyundai HD78 - Año 2025* [Recurso en línea]. Consultado el 6 de abril de 2024, desde <https://www.hyundaicamiones.com.ec/product/hundai-hd78-b-c>
- IMT - Instituto Mexicano del Transporte. (2013). Requerimientos de geometría de carreteras de las configuraciones vehiculares actuales [Artículo técnico institucional, consultado en formato PDF]. *Publicación bimestral de divulgación externa*, (142).

- International Organization for Standardization. (2020). *Powered Industrial Trucks and Tractors – Brake Performance and Component Strength* [Accedido en línea]. <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/07/52/75277.html>
- ISO Standard 28580. (2018). *Tyres – Nominal Load and Speed Ratings – Coding Method* [International Organization for Standardization]. <https://www.iso.org/standard/69418.html>
- ISO Standard 3833. (2005). *Road Vehicles – Types – Terms and Definitions* [International Organization for Standardization]. <https://www.iso.org/standard/38581.html>
- Kates, E. J., & Luck, W. E. (2021). *Motores Diésel y de Gas de Alta Compresión*. Reverté.
- Larminie, J., & Lowry, J. (2012). *Electric Vehicle Technology Explained*. John Wiley & Sons.
- Liao, Y., Eggenschwiler, P. D., Spiteri, A., Nocivelli, L., Montenegro, G., & Boulouchos, K. (2015). Fluid Dynamic Comparison of AdBlue Injectors for SCR Applications. *SAE International Journal of Engines*, 8(5), 2303-2311. <https://doi.org/10.4271/2015-01-0969>
- Lindstad, E., Lagemann, B., Riialand, A., Gamlem, G. M., & Valland, A. (2021). Reduction of Maritime GHG Emissions and the Potential Role of E-Fuels. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 101, 103075. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103075>
- Liu, J., Peng, H., & Filipi, Z. (2005). Modeling and Analysis of the Toyota Hybrid System [Revista técnica, nombre del journal no especificado]. *Tlc*, 200(3).
- López, Á. L. M. (2013). *Estudio teórico experimental de la estabilidad lateral en vehículos cisterna: metodología para la determinación del umbral de vuelco* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid] [Tesis doctoral]. <https://oa.upm.es/19040/>
- Lozano Guzmán, A., & Hernández Jiménez, J. R. (1997). La Estabilidad de Vehículos Pesados y la Seguridad en Carreteras [Ponencia técnica]. *XXIII Seminario de Ingeniería de Tránsito*.
- Mazda retorna con el motor Wankel. (2001). Revista de Ingeniería DYNA [Artículo de divulgación técnica, autor corporativo]. *Historia*, 76.
- MeisterDrucke. (2024, abril). *Vista en sección de una locomotora a vapor de mediados del siglo XIX, 1882* [Imagen digital consultada el 14 de abril de 2024]. <https://www.meisterdrucke.es/impresion-art%C3%ADstica/Unbekannt/730111/Vista-en-secci%C3%B3n-de-una-locomotora-a-vapor-de-mediados-del-siglo-XIX%2C-1882.html>

- Méndez, C. A. C., Pérez, Y. S. C., Junior, H. M. T., Peña, C. Á., & de Melo, K. A. L. (2013). Determinación de la posición de las cargas sobre los camiones y su influencia en el medio [Número final, formato adaptado para BibTeX]. *Heavy Truck*, 13(20), 200-208.
- Michelin. (2023, septiembre). *Llantas Comerciales Michelin* [Consultado el 30 de septiembre de 2023]. <https://pro.michelin.com.mx/consejos-sugerencias/aspectos-basicos-y-marcas-de-las-llantas>
- Microscopio. (2023, agosto). *Funcionamiento del motor a 4 tiempos* [Artículo web]. Consultado el 5 de mayo de 2024, desde <https://www.microscopio.pro/conoce-a-fondo-el-funcionamiento-del-motor-a-4-tiempos-informacion-esencial-para-los-amantes-de-los-autos>
- Mizon, R., & Tuck, R. M. (1991). Automatic and Powershift Transmissions for Trucks [Documento técnico, sin datos de revista o volumen].
- Morales Mercedes, R. (1999). Selección del tren motriz del servicio de carga y pasajeros con eficiencia energética [Publicación técnica consultada en línea]. *IMT - Instituto Mexicano del Transporte*. <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20476413>
- Moreno, G. G., Flórez, E. G., & Peña, C. A. (2018). Estudio de Estabilidad de Vehículos Pesados. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, 2(30), 1-6.
- Morton, R. (1989). *Morton*. Canberra School of Music.
- Nadeem, S. K. S., Giridhara, G., & Rangavittal, H. K. (2018). A Review on the Design and Analysis of Composite Drive Shaft. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 2738-2741. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.427>
- Niederle, P. (2024, mayo). *Scania Trucks Brake System Schemes Manual - Repair Manuals* [Manual técnico en línea, consultado el 8 de mayo de 2024]. [https://en.scania-club.com/manual\\_download.php?id=131](https://en.scania-club.com/manual_download.php?id=131)
- Organización Internacional de Normalización. (2024, mayo). *ISO 21069-2:2008* [Consultado el 24 de mayo de 2024]. <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/04/13/41339.html?browse=ics>
- Palacios López, A. (2017). *Análisis de la frenada de vehículos en carretera y banco de rodillos de ITV* [Trabajo Fin de Grado]. Universidad de Zaragoza [Tesis de licenciatura en ingeniería mecánica].

- Parera, A. M. (1996). *Inyección Electrónica en Motores Diésel*. Marcombo.
- Payri González, F., & Desantes Fernández, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Universitat Politècnica de València.
- Pérez Gálvez, R., Fuentes Vega, J. R., Cogollos Martínez, J. B., Millo Carmenate, V., & Botana Beltrán, L. O. (2017). Determinación del Coeficiente de Resistencia del Camino Mediante un Método de Remolque. *INGE CUC*, 13(2), 35-41.
- Piro, O. E. (2012). Notas sobre Física General: Resistencia a la Rodadura [Material académico no publicado formalmente en revista].
- Rafael, M. M., & Zavala, P. A. (1999). Selección del tren motriz de vehículos pesados (carga y pasajeros) destinados al servicio público federal [Publicación Técnica No. 128]. *IMT - Secretaría de Comunicaciones y Transportes*. <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt128.pdf>
- Ragland, K. W., & Bryden, K. M. (2011, mayo). *Combustion Engineering*. CRC Press.
- Rajamani, R. (2011). *Vehicle Dynamics and Control*. Springer Science; Business Media.
- Redazione. (2024, mayo). *Perfezione Aerodinamica per la Massima Efficienza del Nuovo Actros* [Artículo en línea, consultado el 26 de mayo de 2024]. <https://www.impresedilnews.it/mercedes-benz-actros-aerodinamico-ed-efficiente>
- Romero Paredes, H., & Ambriz, J. J. (2003). Alternate Fuels; Combustibles Alternos [Documento sin publicación formal identificada].
- Sagastume Alvarado, D. E. (2016). *Comparación termodinámica entre los ciclos de potencia Otto, en un Toyota Yaris, y Atkinson, en un Toyota Prius* [Tesis doctoral, Universidad de San Carlos de Guatemala] [Tesis doctoral en ingeniería mecánica].
- Sáinz Casas, D. (2016). Adaptación de un Motor de Combustión Interna Alternativo de Gasolina para su Funcionamiento con Hidrógeno como Combustible. Aplicaciones Energética y de Automoción [Documento académico sin publicación formal].
- Sánchez, G. F. G., Velasco, J. L. C., & Guerrero, A. C. (2013). Modelado de la Combustión en Motores Diésel: Revisión del Estado del Arte [Artículo técnico en español]. *Revista ION*, 26(1), 41-54.

- Scania AB. (2005, septiembre). Chasis Scania para Ómnibus Urbano [Catálogo Serie K, p. 7. Presentación en PowerPoint]. <https://www.scania.com/>
- Scania México. (2021, julio). *Serie P 6x2 – Scania Trucks* [Recurso en línea, consultado el 31 de marzo de 2024]. Scania México. <https://scaniatrucksmexico.com/distribucion/serie-p-6x2>
- Seal, S., Adjust, K., & Zerk, G. (2015). Diagrama del Embrague: Embrague de Servicio Pesado Libre de Ajustes Eaton® Fuller® Solo® [Documento técnico corporativo, autoría no convencional]. *Manual Técnico Eaton*.
- SEAS, E. S. A. (2019, enero). *Tipos de motor Stirling* [Artículo web]. Consultado el 26 de mayo de 2024, desde [https://www.seas.es/blog/disenio\\_mecanico/tipos-de-motor-stirling](https://www.seas.es/blog/disenio_mecanico/tipos-de-motor-stirling)
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2017, 26 de diciembre). *NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017 sobre pesos y dimensiones máximas* [Diario Oficial de la Federación]. Consultado el 4 de octubre de 2023, desde [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5508944&fecha=26/12/2017](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5508944&fecha=26/12/2017)
- Simplemente Física. (2013, mayo). *Ciclo de Carnot* [Artículo web]. Consultado el 26 de mayo de 2024, desde <https://simplementefisica.wordpress.com/tercer-corte/ciclo-de-carnot>
- Sl. (2022). Cálculos de freno y suspensión de camión [Artículo en línea, consultado en abril de 2022]. *Enrique Requena*. <https://www.enriquerequena.com/valvulas-de-freno-y-aire>
- Staff, C. A. (2012). *Brakes: Fundamentals of Automotive Technology*. Jones; Bartlett Learning, LLC.
- Store, D. (2021, octubre). *Diferencia: Potencia vs. Torque - Diesel Store* [Artículo en línea, consultado en octubre de 2021]. <https://dieselstore.net/diferencia-potencia-vs-torque>
- Thomas, M. (2013, octubre). *Truck and Trailer Systems* [Paperback edition]. McGraw-Hill LLC.
- Todo Transporte. (2016, febrero). *Nueva gama de neumáticos Michelin para camión* [Artículo en línea, consultado en febrero de 2016]. <https://www.todotransporte.com/texto-diario/mostrar/3282337/nueva-gama-neumaticos-michelin-camion>
- Torres, P. J. R. (1999). Combustibles, Fósiles y Contaminación. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 8, 87-92.
- TruckScience. (2024, marzo). *Truck Weight Distribution* [Recurso en línea]. Consultado el 26 de mayo de 2024, desde <https://truckscience.com/en-us>

- Turns, S. R. (2012). *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications*. McGraw-Hill.
- Universidad de Sevilla. (2017, mayo). *Ciclo Otto* [Artículo web]. Consultado el 5 de mayo de 2024, desde [http://tesla.us.es/wiki/index.php/Ciclo\\_Otto](http://tesla.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Otto)
- Urien, A. (2013). Obtención de Biocarbones y Biocombustibles Mediante Pirólisis de Biomasa Residual [Artículo académico, fuente no especificada]. *Revista de Ingeniería Química y Energías Renovables*.
- Vega, D. V., Jiménez, J. R. H., Acevedo, M. E. C., Centeno, O. F., Gallegos, M. d. J. F., & Nochebuena, M. A. H. (2012). Sistemas de frenos en vehículos de carretera, normativa y mecanismos de frenado automatizado [Documento técnico, sin fecha exacta]. *Instituto Mexicano del Transporte*.
- Ventura, L. M. (1979). The Development of Alternate Combustibles for Diesel Engines [Ponencia en congreso]. *1st Brazilian Conference on Energy*, 236-247.
- Watson, J. G., Chow, J. C., Lowenthal, D. H., Pritchett, L. C., Frazier, C. A., Neuroth, G. R., & Robbins, R. (1994). Differences in the Carbon Composition of Source Profiles for Diesel- and Gasoline-Powered Vehicles. *Atmospheric Environment*, 28(15), 2493-2505. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)90433-2](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)90433-2)
- Wikimedia Commons. (2016, marzo). *Atkinson Engine with Intake* [Imagen animada en línea]. Consultado el 5 de mayo de 2024, desde [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/37/Atkinson\\_Engine\\_with\\_Intake.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/37/Atkinson_Engine_with_Intake.gif)
- Wong, J. Y. (2022). *Theory of Ground Vehicles*. John Wiley & Sons.
- Yutong, I. (2024, mayo). *ZK5120C - México - Yutong* [Recurso en línea, consultado el 8 de mayo de 2024]. <https://www.yutong.mx/products/ZK5120C.shtml>
- Zulueta López, M. (2019). Diseño y Cálculo de la Transmisión de un Vehículo de Tracción Trasera [Documento académico sin publicación formal].



# Glosario

**Bastidor** El bastidor, también conocido como chasis, es la estructura principal sobre la cual se construye un vehículo. Es la armazón que sostiene todos los componentes del automóvil, incluyendo el motor, la carrocería, la suspensión, los sistemas de dirección, entre otros. 40

**Calabazo** Forma coloquial en la que se le llama al diferencial en países como México. 11

**Capó** El capó de un automóvil, también conocido como cofre en algunos lugares, es la parte delantera del vehículo que cubre el compartimiento del motor. Es una pieza externa que se levanta para acceder al motor y otros componentes ubicados en el compartimiento del motor, como la batería, el depósito de líquido refrigerante, el sistema de frenos, entre otros. 38

**Cardán** El cardán es un componente de transmisión que permite la transferencia de potencia entre partes en diferentes ángulos, facilitando el movimiento rotacional del motor a las ruedas, incluso con variaciones de alineación. 94

**Chattering** En vehículos es un término que se refiere a una vibración o sacudida irregular y repetitiva que se siente a través del volante, los pedales o el chasis del vehículo durante ciertas condiciones de funcionamiento, como al aplicar los frenos o al acelerar. 144

**Clutch** El término “clutch” proviene del inglés y significa “agarrar” o “sujetar”, describiendo la función del embrague en vehículos, que conecta y desconecta el motor de la transmisión para cambiar de marcha. 100

**Deflector** A menudo llamado “deflector de viento” o “deflector de techo”, es un accesorio instalado en la parte superior del camión, generalmente sobre la cabina. Su función principal es mejorar

la eficiencia aerodinámica del camión y reducir la resistencia al aire. 124

**Eje loco** De forma coloquial es llamado de esta forma en México al eje portador. 11

**Factor de seguridad** Se refiere a la capacidad del motor para proporcionar potencia adicional en situaciones de demanda máxima o de carga pesada. Por ejemplo, un vehículo con un motor diseñado para generar 200 caballos de fuerza (HP) podría tener un "factor de seguridad de potencia" que le permita proporcionar temporalmente una potencia máxima superior en ciertas situaciones, como al subir una pendiente empinada o adelantar a otros vehículos en la carretera. 133, 134

**Gasoil** El gasoil, también conocido como diésel, es un combustible derivado del petróleo crudo utilizado en motores de combustión interna. Es un destilado intermedio obtenido entre la gasolina y los aceites lubricantes, conocido por su eficiencia y alto contenido energético. 179

**Jake** El Jake Brake es un dispositivo de freno de compresión que convierte un motor de combustión interna en un compresor, liberando la presión del cilindro antes de que se complete el ciclo de compresión. Esto crea una desaceleración significativa, reduciendo la velocidad del vehículo. 146

**Perno rey** Se refiere al sistema de acoplamiento que se encuentra en los semiremolques y algunos remolques, el cual se acopla a la quinta rueda permitiendo se sujete el semiremolque al tracto-camión. 21, 58

**Rueda portante** se denomina rueda portante a aquella que está desprovista de tracción, es decir, está desacoplada y puede funcionar libremente, a diferencia de una rueda motriz. 115

**Sidecar** Un sidecar ("vehículo lateral", en inglés) es un vehículo de una rueda enganchado al costado (habitualmente derecho) de una motocicleta, dando como resultado un vehículo de motor de tres ruedas y con capacidad de transportar una y en algunos casos dos personas adicionales a la motocicleta. 34

**Torton** Tipo de vehículo que tiene dos ejes motrices a una distancia menor a 2.4m. 14, 16

**Tráiler** Se utiliza para referirse a un vehículo sin motor que es remolcado por otro vehículo, como un camión o una camioneta. 23

**Yoyo** Se le dice también de esta forma al doble rodado. 15, 115

*Teoría y cálculos de sistemas motrices para vehículos pesados*  
se terminó de imprimir en diciembre de 2025,  
en el taller de impresión de la  
Universidad Autónoma de la Ciudad de México,  
San Lorenzo, 290, Col. Del Valle,  
Alcaldía Benito Juárez, C. P. 03100,  
Ciudad de México con un tiraje de 500 ejemplares.  
Cuidado de la edición: Ángeles Godínez Guevara  
Diseño editorial: Sergio Cortés Becerril

Este libro ha sido elaborado con el objetivo de cubrir un vacío en la literatura educativa específica para la Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano. Su importancia radica en proporcionar una base sólida y actualizada que permitirá a los futuros ingenieros comprender y abordar los desafíos contemporáneos en la movilidad urbana. Al integrar conocimientos de sistemas motrices y su aplicación práctica, este libro contribuirá a formar profesionales capaces de diseñar, implementar y gestionar sistemas de transporte que sean eficientes, sostenibles y seguros. Además, su inclusión en el plan educativo de la UACM refuerza el compromiso de la institución con la excelencia académica y la preparación de sus estudiantes para un mercado laboral en constante evolución. Su propósito es proporcionar a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano una comprensión integral de los vehículos y sistemas motrices, abordando tanto los aspectos teóricos como prácticos necesarios para su desarrollo profesional.



**HÉCTOR ALONSO BENÍTEZ GARCÍA** Es Ingeniero en Control y Automatización y candidato a Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto Politécnico Nacional. Profesor con más de una década de experiencia en el ámbito de la movilidad y el transporte urbano. Ha impartido clases en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, en la carrera de Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano, y actualmente en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Energía y Movilidad del IPN. Ha colaborado en la formación de estudiantes y en proyectos de ingeniería enfocados en la simulación, planificación y optimización de sistemas de transporte. Su trabajo combina modelos matemáticos, técnicas de aprendizaje profundo, análisis de riesgos y herramientas computacionales aplicadas al estudio de redes de transporte urbano y sistemas motrices.

**UACM**

Universidad Autónoma  
de la Ciudad de México

NADA HUMANO ME ES AJENO

Biblioteca  
**BE**  
del  
Estudiante

978-607-2615-72-4



9 786072 615724