

ORGANIZACIÓN Y PROCESOS DE MANTENIMIENTO DE VEHÍCULOS



TEMARIO OFICIAL ACTUALIZADO

1. Estudio termodinámico de los motores Otto y Diesel de dos y cuatro tiempos: ciclos teóricos de funcionamiento. Diagramas, rendimientos.

Introducción

El estudio de los motores de combustión interna, en particular los motores Otto y Diesel, representa un pilar fundamental en el ámbito del mantenimiento de vehículos. Estos motores, que constituyen el corazón mecánico de una gran variedad de automóviles, maquinaria pesada, vehículos industriales y de transporte, desempeñan un papel esencial en el desarrollo económico y social. La eficiencia, el rendimiento y el impacto medioambiental de estos sistemas propulsores están directamente relacionados con su diseño termodinámico y con la comprensión profunda de sus ciclos teóricos de funcionamiento.

Los principios de la termodinámica aplicados a los motores de combustión interna permiten analizar su comportamiento energético, optimizar su rendimiento y diagnosticar posibles anomalías de funcionamiento. Este enfoque resulta indispensable no solo para el diseño y mantenimiento de los motores, sino también para adaptarlos a las exigencias normativas actuales en materia de sostenibilidad, eficiencia energética y reducción de emisiones contaminantes. En este sentido, conocer en profundidad los ciclos teóricos de Otto y Diesel —en sus variantes de dos y cuatro tiempos— y sus correspondientes diagramas presión-volumen o temperatura-entropía, constituye una base imprescindible para los profesionales del sector.

La aplicación práctica de estos conocimientos en el ámbito de la Formación Profesional adquiere una relevancia aún mayor si se considera la creciente demanda de técnicos cualificados capaces de intervenir eficazmente sobre motores térmicos en contextos de alta exigencia técnica. Los avances en la normativa europea sobre emisiones, la progresiva hibridación de los sistemas de propulsión y la irrupción de tecnologías alternativas (como el gas o los biocombustibles) hacen que el dominio de los fundamentos termodinámicos siga siendo indispensable, incluso en un panorama de transición energética.

En este contexto, la LOMLOE y la Ley Orgánica 3/2022 de Ordenación e Integración de la Formación Profesional refuerzan la importancia del desarrollo de las competencias del alumnado para mejorar su potencial de empleabilidad. La adquisición de conocimientos técnicos rigurosos sobre los ciclos de los motores Otto y Diesel no solo capacita a los futuros profesionales para el desempeño competente de su labor, sino que también los prepara para enfrentar los retos de un mercado laboral en continua evolución, donde la eficiencia energética y la sostenibilidad son claves.

El presente tema aborda con detalle el estudio termodinámico de los motores Otto y Diesel de dos y cuatro tiempos, sus respectivos ciclos teóricos de funcionamiento, los diagramas

asociados y la evaluación de sus rendimientos. A través de un análisis técnico profundo y estructurado, se pretende dotar al docente de una herramienta sólida que facilite la transmisión de estos conocimientos al alumnado de Formación Profesional, contribuyendo así al fortalecimiento de una enseñanza técnica rigurosa, actualizada y orientada al desempeño profesional.

Estudio termodinámico de los motores Otto y Diesel de dos y cuatro tiempos

Fundamentos termodinámicos aplicados a los motores de combustión interna

Los motores de combustión interna alternativos, representados principalmente por los motores Otto y Diesel, convierten la energía química del combustible en energía mecánica mediante procesos térmicos cíclicos. Esta conversión se basa en los principios de la termodinámica, especialmente en la primera y segunda leyes, que permiten analizar el comportamiento energético del sistema. En este sentido, un motor térmico es un sistema cerrado durante el ciclo teórico, que intercambia calor y trabajo con su entorno a través de las distintas fases del proceso de combustión.

El análisis termodinámico implica el estudio de magnitudes como presión, volumen, temperatura y energía interna, así como del rendimiento del ciclo, entendido como la relación entre el trabajo útil obtenido y la energía calorífica aportada por el combustible. La comprensión de estos principios es clave para entender el funcionamiento y eficiencia de los motores Otto y Diesel.

Motores Otto y Diesel: principios generales y diferencias

Ambos tipos de motores se clasifican en función del tipo de combustión, el sistema de encendido y el tipo de mezcla aire-combustible:

- **Motor Otto:** utiliza una mezcla homogénea aire-combustible que se comprime y se enciende mediante una chispa producida por una bujía. Este sistema es típico en turismos ligeros y motocicletas.
- **Motor Diesel:** basa su funcionamiento en la ignición por compresión. El aire se comprime en primer lugar, alcanzando una temperatura elevada, tras lo cual se inyecta el combustible, que se autoenciende espontáneamente. Esta tecnología es más habitual en vehículos industriales, maquinaria agrícola y transporte pesado.

Desde un punto de vista termodinámico, el motor Otto opera con un ciclo de combustión a volumen constante, mientras que el motor Diesel lo hace a presión constante. Esta diferencia

en el modelo de combustión teórica tiene un impacto directo sobre la eficiencia del ciclo, la relación de compresión y las características mecánicas del diseño del motor.

Motores de dos tiempos y cuatro tiempos: análisis comparativo

Los motores de combustión interna pueden clasificarse también según su secuencia de funcionamiento:

- **Motor de cuatro tiempos:** el ciclo completo se realiza en cuatro carreras del pistón (admisión, compresión, expansión o trabajo, y escape), lo que equivale a dos vueltas del cigüeñal. Esta configuración es la más extendida en automoción y se caracteriza por su mayor eficiencia energética y menor nivel de emisiones.
- **Motor de dos tiempos:** ejecuta un ciclo completo en dos carreras del pistón (una vuelta del cigüeñal), combinando simultáneamente los procesos de admisión y escape. Aunque su rendimiento volumétrico es superior, presenta un consumo específico mayor y un control más difícil de las emisiones contaminantes.

Desde la perspectiva termodinámica, los motores de dos tiempos producen más ciclos por unidad de tiempo, lo que puede traducirse en un mayor rendimiento instantáneo. Sin embargo, debido a las pérdidas energéticas durante la sobrealimentación por barrido y a la combustión menos controlada, su eficiencia térmica suele ser inferior a la de los motores de cuatro tiempos.

Relación de compresión y su efecto en la eficiencia

La relación de compresión es uno de los parámetros más relevantes en el análisis termodinámico de un motor. Se define como la relación entre el volumen máximo y el volumen mínimo de la cámara de combustión durante el ciclo:

$$r = \frac{V_{m\acute{a}x}}{V_{m\acute{i}n}}$$

En general, cuanto mayor es la relación de compresión, mayor es la eficiencia térmica del ciclo, según la expresión ideal del rendimiento del ciclo Otto:

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

donde γ es el coeficiente de expansión adiabática (relación de calores específicos). Sin embargo, existen limitaciones prácticas debidas al fenómeno de autoignición (detonación) en los motores Otto, lo que restringe su relación de compresión respecto a los motores Diesel, que sí alcanzan mayores relaciones gracias a su sistema de encendido por compresión.

Parámetros termodinámicos característicos

El análisis energético de un ciclo de motor Otto o Diesel incluye:

- **Presión máxima:** se alcanza durante la combustión y condiciona el diseño mecánico del motor.
- **Temperatura máxima:** influye en la selección de materiales y en el control de emisiones.
- **Trabajo neto del ciclo:** obtenido mediante la integración del área bajo la curva del diagrama presión-volumen (ciclo p-V).
- **Eficiencia térmica:** índice de conversión del calor suministrado en trabajo útil.

Estos parámetros permiten optimizar el diseño, seleccionar adecuadamente los componentes del motor y prever el comportamiento bajo distintas condiciones de funcionamiento.

El estudio detallado de estos aspectos termodinámicos es esencial para la comprensión del comportamiento global del motor y constituye la base sobre la cual se modelan los ciclos teóricos que se analizarán a continuación, los cuales representan una idealización simplificada pero extremadamente útil para el diseño y evaluación de los motores térmicos.

Ciclos teóricos de funcionamiento

Concepto y finalidad de los ciclos teóricos

Los ciclos teóricos de funcionamiento constituyen una representación idealizada del comportamiento termodinámico de los motores de combustión interna. Su principal finalidad es proporcionar un modelo matemático y gráfico que permita analizar y comparar de forma sencilla y precisa el rendimiento de diferentes configuraciones motoras. Estos ciclos no consideran pérdidas mecánicas, fenómenos de fricción, tiempos de combustión reales ni efectos de transferencia de calor al entorno. Aun así, resultan herramientas imprescindibles en el diseño, diagnóstico y optimización de motores Otto y Diesel, ya que ofrecen una referencia ideal con la cual contrastar el rendimiento real del sistema.

La idealización de los procesos mediante hipótesis simplificadas —como combustión instantánea, gases perfectos o procesos adiabáticos— permite aplicar con rigor las leyes de la termodinámica para estudiar las transformaciones energéticas y calcular eficiencias teóricas, relaciones de compresión, presiones y temperaturas en cada punto del ciclo.

Ciclo Otto ideal

El ciclo Otto teórico describe el funcionamiento idealizado de un motor de encendido por chispa. Se compone de cuatro procesos sucesivos:

1. **Compresión adiabática (1-2):** el pistón comprime la mezcla aire-combustible sin pérdida ni ganancia de calor, aumentando la presión y temperatura internas.
2. **Aporte de calor a volumen constante (2-3):** se modela la combustión como una liberación de energía térmica instantánea sin cambio de volumen.
3. **Expansión adiabática o trabajo útil (3-4):** los gases se expanden, generando trabajo sobre el pistón.
4. **Rechazo de calor a volumen constante (4-1):** se idealiza la expulsión del calor residual manteniendo el volumen constante.

Estos procesos se representan en un diagrama presión-volumen (p - V) con forma característica de trapecio cerrado. La eficiencia térmica ideal de este ciclo está directamente relacionada con la relación de compresión y el coeficiente adiabático del gas de trabajo. El modelo asume una mezcla homogénea de aire y combustible, y desprecia fenómenos como la detonación o la transferencia de calor a los cilindros.

Ciclo Diesel ideal

El ciclo Diesel representa el funcionamiento idealizado de un motor de encendido por compresión. Aunque comparte fases similares con el ciclo Otto, la principal diferencia radica en el modo de combustión, que se simula como un aporte de calor a presión constante:

1. **Compresión adiabática (1-2):** solo se comprime aire, alcanzando altas temperaturas y presiones.
2. **Aporte de calor a presión constante (2-3):** el combustible se inyecta y arde mientras el pistón avanza, manteniendo la presión.
3. **Expansión adiabática (3-4):** como en el ciclo Otto, se produce trabajo sobre el pistón.
4. **Rechazo de calor a volumen constante (4-1):** la temperatura y la presión disminuyen, cerrando el ciclo.

La eficiencia del ciclo Diesel depende, además de la relación de compresión, de la relación de corte (ρ/rho_p), definida como la relación entre el volumen final y el volumen inicial durante el proceso de combustión a presión constante. A igual relación de compresión, el ciclo Diesel presenta una eficiencia menor que el ciclo Otto, pero en la práctica, al admitir relaciones de compresión más elevadas, puede superar al Otto en rendimiento global.

Ciclo de dos tiempos y simplificaciones teóricas

En motores de dos tiempos, se produce un ciclo completo en solo dos carreras del pistón. Los modelos teóricos de estos ciclos eliminan fases independientes de admisión y escape, considerándolas simultáneas con la compresión y expansión. Esto implica simplificaciones adicionales, como el supuesto de procesos instantáneos de barrido de gases, y afecta directamente a los parámetros de eficiencia.

Aunque menos representativos de la realidad que los ciclos de cuatro tiempos, estos modelos permiten estimar de forma general la influencia del mayor número de ciclos por minuto en la entrega de potencia y en el consumo específico de combustible.

Influencia de las condiciones de trabajo sobre el ciclo teórico

A pesar de su carácter idealizado, los ciclos teóricos permiten introducir ajustes que los aproximan a situaciones reales. Algunos factores que influyen en la forma y eficiencia del ciclo son:

- **Relación de compresión:** determina la temperatura y presión alcanzadas al final de la compresión, con influencia directa en la eficiencia.
- **Calor específico variable:** en la realidad, los calores específicos del gas dependen de la temperatura, lo cual modifica los valores obtenidos idealmente.
- **Duración y tipo de combustión:** la transición entre los modelos Otto y Diesel se puede modelar mediante ciclos mixtos (como el ciclo Sabathé), que combinan aportes de calor a volumen y presión constantes.

Estos ajustes permiten desarrollar simulaciones más realistas y mejorar el diseño de componentes como cámaras de combustión, válvulas o sistemas de inyección.

El conocimiento profundo de los ciclos teóricos es fundamental en la evaluación del rendimiento y en la comprensión de los diagramas de funcionamiento, cuya representación gráfica y análisis detallado permite estudiar las pérdidas energéticas, la eficiencia global y la calidad del trabajo entregado por el motor, aspectos que serán desarrollados a continuación.

Diagramas, rendimientos

Representación gráfica de los ciclos: diagramas p-V y T-s

El análisis gráfico de los ciclos teóricos de los motores Otto y Diesel se realiza fundamentalmente a través de los diagramas presión-volumen (p-V) y temperatura-entropía (T-s), los cuales permiten visualizar de forma clara las transformaciones termodinámicas y los intercambios energéticos que se producen a lo largo del ciclo.

En el **diagrama p-V**, se representa la evolución de la presión respecto al volumen dentro del cilindro durante un ciclo completo. Este diagrama tiene una forma cerrada y su área interna representa el **trabajo neto del ciclo**, es decir, el trabajo útil que realiza el motor. En el ciclo Otto, el aporte y rechazo de calor tienen lugar a volumen constante, lo que se traduce en líneas verticales en el diagrama p-V. En el ciclo Diesel, en cambio, la combustión se modela a presión constante, dando lugar a una línea horizontal durante la fase de expansión inicial.

Por su parte, el **diagrama T-s** (temperatura frente a entropía) ofrece una visión más completa de la eficiencia térmica del ciclo, al permitir representar los procesos reversibles e irreversibles,

así como los flujos de calor. En este diagrama, las áreas encerradas entre las curvas representan también el trabajo neto, y los incrementos de entropía reflejan el grado de irreversibilidad del sistema. Este tipo de gráfico es especialmente útil para analizar pérdidas por transferencia de calor, fricción o combustión incompleta en condiciones reales.

La correcta interpretación de ambos diagramas es fundamental para el diagnóstico energético del motor, la evaluación de su rendimiento y la optimización de los parámetros de diseño.

Cálculo del rendimiento térmico ideal

El **rendimiento térmico** (η) de un motor se define como la relación entre el trabajo útil generado y el calor aportado al sistema durante el proceso de combustión. En un ciclo ideal, este rendimiento puede calcularse mediante expresiones derivadas de las transformaciones termodinámicas.

Para el **ciclo Otto**, el rendimiento ideal se expresa como:

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

donde r es la relación de compresión y γ el coeficiente de expansión adiabática. Como puede observarse, el rendimiento mejora al aumentar la relación de compresión, aunque en la práctica está limitado por la detonación.

En el **ciclo Diesel**, el rendimiento depende no solo de la relación de compresión, sino también de la relación de corte ρ , que representa la variación de volumen durante la combustión:

$$\eta_{Diesel} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \cdot \left(\frac{\rho^{\gamma} - 1}{\gamma(\rho - 1)} \right)$$

Este valor suele ser ligeramente inferior al del ciclo Otto para una misma relación de compresión, aunque en la realidad, los motores Diesel trabajan con compresiones mucho más altas, lo que les permite alcanzar mayores rendimientos globales.

Además de estas fórmulas, el rendimiento puede ser estimado gráficamente midiendo el área bajo el ciclo en el diagrama p-V y comparándola con el calor suministrado, representado en el eje T-s.

Factores que influyen en el rendimiento real del motor

A pesar de los rendimientos teóricos calculados a partir de los ciclos ideales, los motores reales presentan una eficiencia significativamente menor debido a diversos factores:

- **Pérdidas por fricción mecánica:** en elementos móviles como pistones, cojinetes y árboles de levas.
- **Intercambio de calor no deseado:** parte del calor generado en la combustión se pierde a través de las paredes del cilindro y el sistema de refrigeración.
- **Combustión incompleta:** que reduce la cantidad de energía liberada y aumenta las emisiones contaminantes.
- **Pérdidas por bombeo:** relacionadas con el esfuerzo necesario para mover los gases durante las fases de admisión y escape.
- **Limitaciones en la mezcla:** la proporción aire-combustible y su distribución no siempre es homogénea, lo que afecta al rendimiento térmico.

En la práctica, los rendimientos globales de los motores Otto suelen oscilar entre el 25 % y el 30 %, mientras que los motores Diesel alcanzan valores del 35 % al 40 %, e incluso superiores en aplicaciones industriales o marítimas.

Utilidad didáctica y profesional de los diagramas y rendimientos

El análisis de los diagramas p-V y T-s, así como el cálculo y estudio de los rendimientos térmicos, constituye una herramienta fundamental tanto en el ámbito del diseño como en el mantenimiento predictivo y correctivo de los motores. Desde la Formación Profesional, su integración en entornos de aprendizaje basados en simulación, diagnóstico de averías y ajuste de parámetros de motor resulta especialmente valiosa para desarrollar competencias profesionales vinculadas a la eficiencia energética, la sostenibilidad y el cumplimiento normativo en materia de emisiones.

Estos conocimientos, aplicados en el aula a través de metodologías activas y centradas en la resolución de problemas reales, facilitan la comprensión profunda del comportamiento de los sistemas térmicos y preparan al alumnado para tomar decisiones técnicas fundamentadas en entornos laborales altamente tecnificados. Todo ello contribuye a consolidar las bases necesarias para una reflexión final sobre la relevancia del estudio termodinámico en el marco de la eficiencia, la innovación y la empleabilidad en el sector del mantenimiento de vehículos.

Conclusión

El estudio termodinámico de los motores Otto y Diesel, así como la comprensión de sus ciclos teóricos de funcionamiento, constituye una base técnica esencial en el ámbito de la automoción y el mantenimiento de vehículos. A través del análisis de los procesos de compresión, combustión, expansión y evacuación de gases, es posible entender con rigor el comportamiento energético de estos sistemas, optimizar su rendimiento y diagnosticar posibles ineficiencias o anomalías. El conocimiento de los diagramas p-V y T-s, junto con el cálculo de rendimientos térmicos ideales y reales, permite al profesional establecer estrategias fundamentadas para la mejora del desempeño mecánico y energético de los motores.

Desde la perspectiva de la Formación Profesional, estos contenidos ofrecen al alumnado una visión sistémica y rigurosa del funcionamiento de los motores de combustión interna, permitiéndole interpretar datos, modelar procesos y tomar decisiones técnicas alineadas con las exigencias del sector. Además, favorecen el desarrollo de competencias clave como la resolución de problemas, el razonamiento científico-técnico y la capacidad de análisis de sistemas energéticos complejos. Esta preparación es imprescindible para abordar con solvencia los retos de sostenibilidad, eficiencia y digitalización que atraviesan el sector del transporte y la movilidad.

En este sentido, el tratamiento didáctico del tema puede enriquecerse mediante metodologías activas como el aprendizaje basado en proyectos, la simulación de ciclos mediante software específico o el análisis comparativo de motores reales en banco de pruebas. Estas estrategias, además de fomentar la motivación y la implicación del alumnado, refuerzan la transferencia de conocimientos teóricos al entorno profesional real, donde la eficiencia energética, la optimización del consumo y el cumplimiento normativo en materia de emisiones son objetivos prioritarios.

El enfoque técnico desarrollado a lo largo del tema conecta directamente con los principios de innovación y mejora continua en el sector de la automoción. La comprensión profunda de los fundamentos termodinámicos y la capacidad de interpretar sus representaciones gráficas capacitan al alumnado para participar activamente en procesos de transformación tecnológica, contribuyendo así a una movilidad más eficiente y sostenible.

En definitiva, el dominio de estos contenidos no solo fortalece el perfil profesional del alumnado, sino que también responde a una necesidad formativa coherente con los valores de la Formación Profesional actual: cualificación técnica, empleabilidad, sostenibilidad e innovación. Fomentar esta competencia técnica es, por tanto, un paso clave en el desarrollo de itinerarios formativos que permitan al alumnado mejorar su proyección laboral y su capacidad de adaptación en un entorno productivo cambiante.

Bibliografía

Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Boletín Oficial del Estado, núm. 340, 30 de diciembre de 2020.

Ley Orgánica 3/2022, de 31 de marzo, de ordenación e integración de la Formación Profesional

Orovio Astudillo, M. (2010). *Tecnología del automóvil*. Ediciones Paraninfo.

González Calleja, D. (2015). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares* (2ª ed.). Ediciones Paraninfo.

Sanz Acebes, S. (2022). *Motores*. Editex.

Águeda Casado, E., Gómez Morales, T., & Martín Navarro, J. (2019). *Sistemas de transmisión y frenado* (2ª ed.). Ediciones Paraninfo.

Pérez Belló, M. Á. (2024). *Circuitos de fluidos, suspensión y dirección* (4ª ed.). Ediciones Paraninfo.

Denton, T. (2016). *Sistemas eléctrico y electrónico del automóvil: tecnología automotriz, mantenimiento y reparación de vehículos*. Marcombo.

Gil Martínez, H. (2007). *Manual de diagnosis del automóvil. Para Dummies*.

González Payá, J. C. (2012). *Gestión y logística del mantenimiento de vehículos*. Editorial Club Universitario.

Lagoa Álvarez, A. (2016). *Prevención de riesgos laborales en el mantenimiento de vehículos*. Certia Editorial.

Ros Marín, J. A., & Barrera Doblado, Ó. (2024). *Vehículos eléctricos e híbridos* (2ª ed.). Ediciones Paraninfo.