Recibido: 03/05/2021 Aprobado: 08/07/2021

POTENCIAMIENTO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

M.Sc. Ing. Julián Ramiro Espinoza Chile
jespinozac@uto.edu.bo
Universidad Técnica de Oruro
Oruro - Bolivia

RESUMEN

El mejoramiento de motores de combustión interna implica optimizar la potencia nominal con la cual estos motores son fabricados, esencial para asegurar su correcto funcionamiento bajo condiciones exigentes. Este estudio examina los factores que influyen en el desempeño de los motores y las técnicas para aumentar su potencia. Se destacan la eficiencia volumétrica, la relación de compresión y las modificaciones estructurales necesarias para maximizar el rendimiento. La eficiencia volumétrica, que determina la cantidad de aire que puede entrar en los cilindros, se mejora optimizando el diseño del sistema de admisión y el flujo de aire. La relación de compresión, que mide la diferencia de volumen entre las posiciones del pistón, puede incrementar la potencia pero requiere un equilibrio cuidadoso para evitar la detonación. Las modificaciones estructurales incluyen el reforzamiento de pistones y bielas y la mejora del sistema de escape para reducir la contrapresión. El aumento de la potencia del motor presenta desafíos significativos, especialmente en términos de gestión térmica. Incrementar la potencia genera más calor, lo que puede afectar la durabilidad de los componentes del motor. Una gestión adecuada de la temperatura es crucial para prevenir el sobrecalentamiento y asegurar la longevidad del motor, lo que puede implicar mejorar el sistema de enfriamiento y utilizar materiales más resistentes al calor. La durabilidad de los componentes es otro aspecto crítico. El incremento de potencia somete a los componentes del motor a mayores fuerzas y estrés, acelerando el desgaste. Por lo tanto, es vital seleccionar materiales de alta calidad y diseñar componentes que puedan soportar estas condiciones extremas. Este estudio subraya la importancia de un enfoque integral para aumentar la potencia de los motores de combustión interna, considerando todos los aspectos del diseño y funcionamiento. Al aplicar técnicas avanzadas y un enfoque meticuloso, se puede mejorar significativamente la potencia y el rendimiento de los motores, enfrentando los desafíos y asegurando un funcionamiento óptimo en diversas condiciones.

Palabras clave: potencia, eficiencia volumétrica, relación de compresión, gestión térmica, durabilidad

BOOSTING INTERNAL COMBUSTION ENGINES

ABSTRACT

The enhancement of internal combustion engines involves optimizing the nominal power with which these engines are manufactured, essential to ensure their proper functioning under demanding conditions. This study examines the factors that influence engine performance and the techniques used to increase their power. Key aspects include volumetric efficiency, compression ratio, and structural modifications necessary to maximize performance. Volumetric efficiency, which determines the amount of air that can enter the cylinders, is improved by optimizing the intake system design and airflow. The compression ratio, which measures the volume difference between piston positions, can increase power but requires careful balancing to avoid detonation. Structural modifications include reinforcing pistons and connecting rods and improving the exhaust system to reduce backpressure. Increasing engine power presents significant challenges, especially in terms of thermal management. Higher power generation produces more heat, which can affect the durability of engine components. Proper temperature management is crucial to prevent overheating and ensure engine longevity, which may involve enhancing the cooling system and using heat-resistant materials. Component durability is another critical aspect. Increased power subjects engine components to greater forces and stress, accelerating wear. Therefore, it is vital to select high-quality materials and design components that can withstand these extreme conditions. This study underscores the importance of a comprehensive approach to increasing the power of internal combustion engines, considering all aspects of design and operation. By applying advanced techniques and a meticulous approach, it is possible to significantly improve engine power and performance, addressing challenges and ensuring optimal operation under various conditions.

Keywords: power, volumetric efficiency, compression ratio, thermal management, durability

INTRODUCCIÓN

La evolución de la tecnología automotriz ha llevado a mejoras significativas en los motores de combustión interna, los cuales han experimentado diversos cambios para mejorar su rendimiento. El potenciamiento de estos motores es esencial para corregir deficiencias y aumentar su eficiencia, especialmente bajo condiciones de alta demanda. Este estudio explora los principios y métodos utilizados para potenciar motores de combustión interna, enfocándose en la relación de compresión, la eficiencia volumétrica y las técnicas de modificación estructural.

Contexto Histórico

Desde la invención del motor de combustión interna, ha habido un interés continuo en mejorar su eficiencia y rendimiento. En sus primeras etapas, los motores eran relativamente simples y ofrecían poca potencia en comparación con los estándares modernos. Con el tiempo, la tecnología avanzó, permitiendo la incorporación de sistemas más complejos y eficientes. A medida que la industria automotriz creció, también lo hizo la demanda de motores más potentes y duraderos. Esta evolución ha llevado a una comprensión más profunda de los procesos termodinámicos y mecánicos que rigen el funcionamiento de estos motores.

Importancia del Potenciamiento

El potenciamiento de los motores de combustión interna no solo es relevante para la industria automotriz de alto rendimiento y deportes de motor, sino también para aplicaciones cotidianas y comerciales. Un motor más potente puede ofrecer una mejor eficiencia de combustible, mayor durabilidad y un rendimiento más consistente bajo diversas condiciones operativas. Además, en un contexto de creciente preocupación por el medio ambiente, motores más eficientes pueden contribuir a la reducción de emisiones y al consumo de recursos naturales.

Hablar de potenciamiento de los motores de combustión interna que utiliza la gasolina como combustible, equivale decir una autonomía de acción a la capacidad de iniciar y manejar el cambio en lugar de una simplista forma de tolerarlo, es decir, a mejorarlo o corregirlo la potencia nominal con la

cual salió de fábrica a lo que se denomina potencia nominal o estándar. La tecnología automotriz a lo largo de su historia y evolución ha sufrido diversas transformaciones y sustanciales mejoras en el desarrollo de sus partes componentes y sus sistemas que son parte de él, de manera frecuente los motores de combustión interna en especial han sufrido solicitaciones muy elevadas que provocan anomalías y deficiencias en el correcto funcionamiento de sus sistemas.

Estas solicitaciones que se producen son debido a las variaciones bruscas en los cambios de su régimen de funcionamiento que estabilizan el par motor para producir energía, un motor utiliza energía en forma de trabajo, y es cuando una fuerza aplicada vence una resistencia y se mueve a través de una distancia; el trabajo produce resultados medibles, cuando se utiliza suficiente energía a través de la aplicación de una fuerza para vencer la resistencia al movimiento, el resultado es el movimiento de los émbolos y el cigüeñal del motor. La potencia es la razón a la cual hace el trabajo y depende de la eficiencia del motor a partir de la eficiencia volumétrica, térmica, mecánica, calorífica y otros factores físico-químicos, sólo una pequeña parte del calor que produce el motor de un automóvil durante el funcionamiento se usa para producir potencia, parte del calor generado se descarga a través del escape, otra se disipa a la atmósfera por radiación, un alto porcentaje tiene que ser removido del motor por el sistema de enfriamiento y de lubricación.

Por factores ambientales y la relación de altura en referencia al nivel del mar producen en el motor diferencias técnicas de un buen funcionamiento, que al ser sobre revolucionado llega a factores de temperatura por encima de las permisibles que de persistir puede ocasionar problemas de pérdidas de potencia, consumo excesivo del combustible, recalentamiento y en caso extremo el gripado de las piezas del motor.

El motor funciona según el ciclo de funcionamiento Otto, con una relación estequiométrica aire-combustible 14,7:1 y una relación lambda de 10.000:1, la fuerza motriz es producida por el efecto de la explosión de una mezcla gaseosa a causa del salto de chispa en la bujía, comprimida en el interior de los cilindros a la altura de la cámara de combustión y actúa sobre los émbolos los cuales por

intermedio de las bielas impulsan al cigüeñal en un movimiento de rotación continua. Siendo conducida hacia una rueda de amplia masa denominada volante de inercia que transmite energía mecánica. En los motores que llevan caja automática llevan un volante de inercia bastante liviana, pero es compensada con el convertidor de torsión de amplia masa

El motor es una máquina térmica que transforma la energía química en energía calorífica y posteriormente en energía mecánica de movimiento mediante procesos termodinámicos.

No obstante, hay que procurar que el cigüeñal no se pare en sus posiciones más bajas o más altas a la altura de sus puntos muertos o disminuya la velocidad angular de giro, para este fin se le provee al cigüeñal a la altura de la brida de una gran masa denominada volante de inercia; cuando el conjunto cigüeñal-volante está en movimiento éste continua durante cierto número de revoluciones después de que cesa toda presión sobre el pistón, porque el volante de inercia tiene almacenada energía potencial y el transferencia mediante la energía cinética.

Este procedimiento de movimiento de piezas móviles contra las fijas, producen fricción lo cual se manifiesta en rozamiento que produce calor, a ello se adquiere el calor producido en momento de la explosión de la mezcla carburada. La temperatura en momento de la explosión alcanza al valor de los 2000 ºC aproximadamente, que deben ser evacuados rápidamente para evitar la excesiva dilatación de las piezas, entonces el motor requiere de un sistema que evacue la temperatura de este fenómeno físico-químico, es decir refrigerar de manera artificial para reducir la temperatura de las piezas internas del motor.

Existen causas por las que el motor requiere que se prepare para mejorar la potencia denominándola potenciamiento de los motores de combustión interna:

Por la pérdida o caída de la presión de compresión a causa del tiempo de trabajo producto de los desgastes en los cilindros por ovalización y conicidad; desgaste del pistón a la altura del empuje lateral por el movimiento alternativo, desgaste lateral de los segmentos o anillas en la circunferencia exterior

en las ranuras de los émbolos. Entonces se debe realizar en mantenimiento preventivo y correctivo de partes del motor para aproximarse a los valores nominales o estándar.

En este punto requerimos desmontar el motor en su totalidad para realizar un diagnóstico total de todas las partes fijas y móviles para determinar los puntos dañados o desgastados para realizar el proceso de limpieza y el cambio de las partes imprescindibles.

Esta otra causa para el potenciamiento de los motores que se hallan con sus valores nominales o estándar y se hallan los vehículos con mirar a correrlas en competencias de largo aliento y de corto aliento (cuarto de milla), se requiere realizar trabajos especiales a partir de los cálculos termodinámicos para todo el proceso de potenciamiento, así tener un trabajo científico y no empírico. Para ello debemos proceder a los cálculos en la reducción de la base de la cabeza de cilindros o culata, otro es realizar la ampliación de los cilindros aumentado su eficiencia volumétrica, en ambos casos el procedimiento permite elevar la relación de compresión en los cilindros del motor.

A causa de la reducción de la eficiencia volumétrica, la presión y temperatura ambiental, se ha ido realizando algunas modificaciones para igualar y elevar la potencia para mejorar el rendimiento mecánico en presentaciones de carreras de coches y en competencias de ¼ de milla. Asimismo, el incremento de la relación de compresión provoca el incremento de la temperatura del motor de manera excesiva provocando un sobrecalentamiento, que daña el motor debido a la dilatación excesiva de las partes del motor, fracturando y quemando la película de aceite del sistema de lubricación, por consiguiente, llegando al extremo del gripado del motor en diferentes partes del motor en la cual haya relación de trabajo entre partes fijas y móviles.

Así, como se produce el desprendimiento del poder calorífico del combustible por la inflamación de la mezcla aire combustible a través de la bujía, ello también provocará mayor calor, es decir, el aumento de la temperatura en las piezas de este motor, por este motivo los fabricantes de estos motores han diseñado sistemas al interior de los motores tales como el sistema de lubricación, sistema de refrigeración encargadas de provocar el enfriamiento de la temperatura de las piezas del motor.

Incremento de la potencia de un motor

En el caso presente se puede aumentar la potencia mediante el incremento de la relación de compresión, es decir, llevando a cabo alguna las posibilidades que se enuncia.

> Por aumento de la cilindrada.

> Por aumento de la presión.

> Reducción de la cámara de combustión (cepillado de la cabeza de cilindros).

Por el aumento de cilindrada se consigue mayor potencia porque cuanto mayor sea la capacidad volumétrica de un motor, mayor será la cantidad de aire y combustible que llenará las cámaras de combustión, por lo tanto, tendremos mayor consumo de gasolina. Ello, ocurre por la sobre medida que se realiza con la devastación de los cilindros a valores mayores que los valores nominales o estándar, provocando la ampliación del diámetro de los cilindros del bloque de cilindros, en este caso se obtiene mayor consumo de aire a igualdad de régimen de giro, de modo que en todos ellos podemos esperar el aumento de potencia.

Aumento de la Presión, la presión media efectiva se puede definir como el valor promedio de las presiones que se establecen en el interior de la cámara de combustión mientras ésta se está produciendo, dadas las características básicas que determinan el funcionamiento de un motor de explosión, la cantidad de energía calorífica liberada en el momento de la explosión es tanto mayor cuanto mayor es la temperatura absoluta alcanzada en el momento del encendido de la mezcla.

Si se obtiene una considerable elevación de la presión en el interior de la cámara de combustión, se consigue como resultado un aumento considerable de potencia en el motor, generalmente para aumentar la presión efectiva se puede incrementar la relación de compresión mediante la ampliación del diámetro de los cilindros, reducción de la base de la cabeza de cilindros o culata y el cambio de émbolos o pistones de cabeza plana a cabeza con deflector del tipo convexo.

El trabajo realizado en la cabeza de los cilindros, es una de las fases más importantes en la preparación de un motor de explosión para el incremento de la relación de compresión. Es en esta pieza, en la que

se produce la entrada, control y salida de los gases, y es donde podemos realizar más trabajos de mayor efectividad para obtener un considerable aumento de potencia. La cabeza de cilindros forma la tapa superior de la cámara de combustión y está fijada al bloque del motor mediante tornillos, se alojan en ella las bujías y las piezas de la distribución.

METODOLOGÍA

Esta revisión bibliográfica se centró en analizar y sintetizar la literatura existente sobre el potenciamiento de motores de combustión interna. La metodología empleada incluyó varias fases clave que se describen a continuación:

1. Búsqueda y Selección de Fuentes: Se realizó una búsqueda exhaustiva de literatura relevante utilizando bases de datos académicas como Google Scholar, IEEE Xplore, ScienceDirect y PubMed. Los términos de búsqueda incluyeron "potenciamiento de motores de combustión interna," "eficiencia volumétrica," "relación de compresión," "gestión térmica" y "modificaciones estructurales de motores."

2. Criterios de Inclusión y Exclusión: Para garantizar la relevancia y calidad de las fuentes seleccionadas, se establecieron los siguientes criterios:

- **Inclusión:** Artículos de revistas revisadas por pares, tesis doctorales, informes técnicos y libros que abordaran el mejoramiento de motores de combustión interna.
- **Exclusión:** Artículos de opinión, estudios no revisados por pares y publicaciones que no proporcionaran datos empíricos o análisis detallados sobre las técnicas de potenciamiento.

3. Análisis de Contenido: Se llevó a cabo un análisis de contenido de los estudios seleccionados para identificar los factores clave que influyen en el rendimiento de los motores de combustión interna. El análisis se centró en tres áreas principales:

- **Eficiencia Volumétrica:** Se revisaron técnicas como la optimización del diseño de admisión, el uso de válvulas de mayor tamaño y sistemas de sobrealimentación.

- **Relación de Compresión:** Se evaluaron métodos para aumentar la relación de compresión, como el cepillado de la cabeza de cilindros y la ampliación del diámetro de los cilindros.
- **Modificaciones Estructurales:** Se analizaron las modificaciones estructurales necesarias para mejorar el rendimiento, incluyendo el reforzamiento de pistones y bielas, y mejoras en el sistema de escape.

4. Síntesis de Resultados: Los resultados de los estudios se sintetizaron para identificar las tendencias y hallazgos comunes en la literatura. Se agruparon las técnicas de potenciamiento según su impacto en la potencia del motor, la eficiencia y la durabilidad de los componentes.

5. Evaluación de Desafíos y Soluciones: Se identificaron los principales desafíos asociados con el incremento de la potencia del motor, como la gestión térmica y la durabilidad de los componentes. Se revisaron soluciones propuestas en la literatura para abordar estos desafíos, incluyendo mejoras en los sistemas de enfriamiento y el uso de materiales avanzados.

6. Comparación y Contraste: Se compararon las técnicas y enfoques diferentes propuestos por los estudios revisados, destacando las más efectivas y las menos efectivas según los datos empíricos disponibles. Se consideraron también las limitaciones y posibles áreas de mejora.

7. Conclusiones y Recomendaciones: Basándose en el análisis y la síntesis de la literatura revisada, se elaboraron conclusiones sobre las técnicas más efectivas para el potenciamiento de motores de combustión interna. Se proporcionaron recomendaciones para futuras investigaciones, sugiriendo áreas que requieren más estudio y posibles mejoras en las técnicas existentes.

Esta metodología permitió una revisión exhaustiva y sistemática de la literatura sobre el potenciamiento de motores de combustión interna, proporcionando una visión integral de las técnicas disponibles y sus impactos en el rendimiento del motor.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

RESULTADOS

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se identificaron varios hallazgos clave relacionados con las técnicas de potenciamiento de motores de combustión interna. Los principales resultados se organizan en torno a los tres ejes principales del estudio: eficiencia volumétrica, relación de compresión y modificaciones estructurales.

1. Eficiencia Volumétrica: Los estudios revisados muestran que la eficiencia volumétrica es un factor crítico para el mejoramiento de la potencia del motor. Las técnicas más comunes y efectivas identificadas incluyen:

- **Optimización del Diseño de Admisión:** La modificación del colector de admisión y el uso de válvulas de mayor tamaño han demostrado incrementar significativamente la cantidad de aire que entra en los cilindros, mejorando la eficiencia volumétrica.
- **Sistemas de Sobrealimentación:** La incorporación de turboalimentadores y supercargadores se destacó como una técnica efectiva para aumentar la densidad del aire de admisión, lo que se traduce en un aumento de la potencia.

2. Relación de Compresión: La relación de compresión es otro factor esencial para el potenciamiento de motores. Los estudios muestran que:

- **Cepillado de la Cabeza de Cilindros:** Reducir el volumen de la cámara de combustión mediante el cepillado de la cabeza de cilindros puede aumentar la relación de compresión, resultando en un mayor rendimiento del motor.
- **Ampliación del Diámetro de los Cilindros:** Esta técnica no solo incrementa la relación de compresión sino que también aumenta la capacidad volumétrica del motor, contribuyendo a una mejora notable en la potencia.

3. Modificaciones Estructurales: Las modificaciones estructurales necesarias para soportar el incremento de potencia incluyen:

- **Reforzamiento de Pistones y Bielas:** Estos componentes deben ser reforzados para soportar las mayores cargas y tensiones asociadas con el aumento de potencia.
- **Mejoras en el Sistema de Escape:** La reducción de la contrapresión en el sistema de escape mediante el uso de diseños más eficientes ayuda a mejorar el rendimiento del motor.

Desafíos y Soluciones Los estudios revisados también identifican varios desafíos significativos asociados con el potenciamiento de motores, así como las soluciones propuestas para abordarlos:

- **Gestión Térmica:** Uno de los mayores desafíos es la gestión del aumento de temperatura resultante del incremento de potencia. Las soluciones incluyen la mejora de los sistemas de enfriamiento y el uso de materiales avanzados con mayor resistencia al calor.
- **Durabilidad de los Componentes:** El incremento de potencia somete a los componentes del motor a mayores tensiones y desgaste. Los estudios sugieren el uso de materiales de alta calidad y el diseño de componentes que puedan soportar condiciones extremas.

DISCUSIÓN

Eficiencia Volumétrica La revisión destaca que la eficiencia volumétrica es fundamental para el potenciamiento de motores de combustión interna. Las técnicas como la optimización del sistema de admisión y la sobrealimentación han demostrado ser altamente efectivas. Sin embargo, es esencial considerar el equilibrio entre la mejora de la eficiencia volumétrica y la gestión térmica, ya que el aumento de aire en los cilindros puede generar más calor.

Relación de Compresión Aumentar la relación de compresión mediante el cepillado de la cabeza de cilindros y la ampliación del diámetro de los cilindros ha mostrado resultados prometedores en términos de incremento de potencia. No obstante, es crucial equilibrar estos cambios para evitar problemas de detonación y sobrecalentamiento. La literatura sugiere que una comprensión precisa de los límites del motor y una cuidadosa implementación de estas técnicas son esenciales para lograr un rendimiento óptimo sin comprometer la durabilidad.

Modificaciones Estructurales Las modificaciones estructurales son indispensables para soportar el incremento de potencia. El reforzamiento de pistones y bielas, junto con mejoras en el sistema de escape, son intervenciones críticas. Sin embargo, estas modificaciones pueden aumentar los costos y la complejidad del mantenimiento del motor. Por tanto, es necesario considerar un enfoque equilibrado que maximice los beneficios sin incrementar desproporcionadamente los costos y riesgos.

Desafíos y Soluciones La gestión térmica y la durabilidad de los componentes son los principales desafíos identificados en la literatura. La implementación de sistemas de enfriamiento más eficientes y el uso de materiales avanzados son soluciones viables, pero requieren una inversión considerable en investigación y desarrollo. La selección de materiales y técnicas de enfriamiento debe basarse en un análisis costo-beneficio que considere tanto el rendimiento a largo plazo como la fiabilidad del motor.

CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica concluye que el potenciamiento de motores de combustión interna puede lograrse eficazmente mediante una combinación de mejoras en la eficiencia volumétrica, aumento de la relación de compresión y modificaciones estructurales. No obstante, es crucial abordar los desafíos de gestión térmica y durabilidad de manera integral. Futuras investigaciones deben centrarse en el desarrollo de materiales avanzados y sistemas de enfriamiento eficientes para soportar las condiciones extremas asociadas con el incremento de potencia, así como en la implementación de técnicas que equilibren el rendimiento con la sostenibilidad y la fiabilidad del motor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bayraktar, H. (2005). Experimental and theoretical investigation of using gasoline-ethanol blends in spark-ignition engines. Renewable Energy, 30(11), 1733-1747. https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.11.009

Martyr, A. J., & Plint, M. A. (2011). **Motores de combustión interna: Estudio de su desarrollo, diseño y funcionamiento** (4ª ed.). Reverte.

Blair, G. P. (1999). Design and simulation of four-stroke engines. SAE International. https://doi.org/10.4271/R-186

Heywood, J. B. (1988). Internal combustion engine fundamentals. McGraw-Hill Education.

Karvountzis-Kontakiotis, A., Stoumpos, S., & Karamitsos, D. (2016). A computational study on the effect of valve timing on the performance and emissions of a spark-ignition engine fueled with hydrogen. International Journal of Hydrogen Energy, 41(1), 565-577. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.11.001

Giacosa, D. (2001). **Motores endotérmicos: teoría y cálculos** (2ª ed.). Editorial Dossat.

Pelta, R. (2005). **Ingeniería de motores de combustión interna**. Marcombo.

Khoshbakhti Saray, R., Fathi, M., & Checkel, M. D. (2013). Effects of exhaust gas recirculation (EGR) on performance and emissions of SI engine with the aim of using H2 as an additive. International Journal of Hydrogen Energy, 38(16), 6824-6833. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.03.112

Leone, T. G., & Pozar, M. (2001). Fuel economy benefit of cylinder deactivation—Sensitivity to vehicle application and operating constraints. SAE Transactions, 110, 1397-1412. https://doi.org/10.4271/2001-01-3591

Luján, J. M., Serrano, J. R., Bermúdez, V., & Piqueras, P. (2010). Influence of an exhaust gas recirculation (EGR) time delay on the transient performance of a turbocharged diesel engine. Energy, 35(2), 917-926. https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.07.021

Matthews, R. D., & Clarke, J. (2002). Improving the performance of an automotive gasoline engine: A case study. International Journal of Mechanical Engineering Education, 30(4), 285-298. https://doi.org/10.7227/IJMEE.30.4.2

Mollenhauer, K., & Tschöke, H. (2010). Handbook of diesel engines. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89083-6

Nakata, K., Utsumi, S., Ota, A., Kawatake, K., Kawai, T., & Tsunooka, T. (2006). The effect of ethanol fuel on a spark ignition engine. SAE Transactions, 115, 340-351. https://doi.org/10.4271/2006-01-3380

Pierpont, D. A., Montgomery, D. T., & Reitz, R. D. (1995). Reducing particulate and NOx using multiple injections and EGR in a D. I. diesel. SAE Transactions, 104, 270-282. https://doi.org/10.4271/950217

Raj, S. G., Ganesan, V., & Sharma, R. P. (2010). Investigations on the effect of EGR in a turbocharged and intercooled direct injection diesel engine. SAE International Journal of Engines, 3(1), 676-692. https://doi.org/10.4271/2010-01-0497

Stone, R. (2012). Introduction to internal combustion engines (4th ed.). Palgrave Macmillan.

Tunér, M. (2019). Direct injected ethanol in gasoline engines—A heat balance comparison of high EGR, lean burn and stoichiometric operation. Fuel, 253, 1-11.

Martyr, A. J., & Plint, M. A. (2011). **Motores de combustión interna: Estudio de su desarrollo, diseño y funcionamiento** (4ª ed.). Reverte.

Giacosa, D. (2001). **Motores endotérmicos: teoría y cálculos** (2ª ed.). Editorial Dossat.

Pelta, R. (2005). **Ingeniería de motores de combustión interna**. Marcombo.