

Modelos de motores a diésel: un breve análisis comparativo

Diesel engine models: a brief comparative analysis

Freddy Fernando Portocarrero-Rivas
fportocarrero1950@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-0636-2278>
Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo-
Ecuador

Ricardo Anibal Sosa-Rodríguez
rsosa8633@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-9952-1864>
Universidad Técnica de Manabí,
Portoviejo-Ecuador

Byron Fernando Chere-Quiñónez
byron.chere@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1886-6147>
Universidad Técnica Luis Vargas
Torres de Esmeraldas, Ecuador

RESUMEN

El objetivo del presente estudio se centró en indagar sobre los modelos de motores a diésel. A este propósito se realizó una revisión bibliográfica de trabajos publicados acerca de esta temática. El tipo de investigación fue documental y de nivel descriptivo, el método empleado fue el inductivo, la técnica de recolección de información fue la observación documental, el procesamiento de los datos se llevó a cabo mediante el análisis de contenido. La búsqueda se realizó vía online en base de datos de publicaciones de corte académico y científico, logrando acceder a una gama de documentos como tesis, artículos, reportes, otros que sirvieron de base para el sustento teórico. Los aportes más significativos dan cuenta que existen diversos criterios para la clasificación de los motores a diésel, como el ciclo de trabajo del motor; el control de la combustión; el número de cilindros, la refrigeración; el sistema de alimentación de aires, entre otros. El uso de motores diésel generan una cantidad de gases contaminantes (CO₂; NO_x; SO_x; CO, HC y partículas ultrafinas) altamente contaminantes para el ambiente y perjudiciales para la salud de las personas, en base a ello se han emitido ordenanzas para regular estas emisiones. Así, se han venido haciendo pruebas en motores a cuatro tiempos con biodiesel con resultados positivos, la tecnología y los modelos matemáticos se han considerado para predecir y simular el rendimiento y las emisiones en los nuevos modelos diésel, así mismo el diseño de los nuevos motores diésel ha mejorado en cuanto al tratamiento de aire, inyección de combustible, combustión y postratamiento.

Palabras claves: Motores diésel, emisiones, regulaciones, biocombustibles.

ABSTRACT

The objective of this study was focused on inquiring about diesel engine models. For this purpose, a bibliographical review of published papers on this topic was carried out. The type of research was documentary and descriptive, the method used was inductive, the data collection technique was documentary observation, data processing was carried out through content analysis. The search was carried out online in a database of academic and scientific publications, gaining access to a range of documents such as theses, articles, reports, and others that served as the basis for theoretical support. The most significant contributions show that there are various criteria for the classification of diesel engines, such as the engine work cycle; combustion control; the number of cylinders, cooling; the air supply system, among others. The use of diesel engines generates a number of polluting gases (CO₂; NO_x; SO_x; CO, HC and ultrafine particles) that are highly polluting for the environment and harmful to people's health, on the basis of which ordinances have been issued to regulate these emissions. Thus, tests have been carried out on four-stroke engines with biodiesel with positive results, technology and mathematical models have been considered to predict and simulate performance and emissions in new diesel models, as well as the design of new engines. Diesel has improved in terms of air treatment, fuel injection, combustion and aftertreatment.

Keywords: Diesel engines, emissions, regulations, biofuels.

INTRODUCCIÓN

Desde su invención en el año de 1893 a manos del creativo ingeniero alemán Rudolf Diesel, el motor diésel, bautizado así en su honor, ha servido como un sistema muy útil para maquinaria pesada y de carga, así, a lo largo de los años se han empleado mayoritariamente en camiones, autobuses y maquinaria pesada, agrícola y de obras. A tono con lo expuesto, (Erazo Mora, 2022) indica, los motores diésel tienen una amplia gama de usos debido al menor costo operativo, eficiencia energética, alta durabilidad y confiabilidad. Aporta en el transporte comercial como en camiones, autobuses, trenes y barcos, así como en vehículos industriales todo terreno, como maquinaria y equipos de minería. En estas consideraciones (Huilca & Haro, 2019) plantean que los vehículos a diésel a diferencia de los motores a gasolina son requeridos para realizar trabajos más pesados, tomando en cuenta que el valor de dicho combustible es menor que el de la gasolina.

Algunas de las ventajas que han contribuido a la expansión que ha tenido el uso del motor Diesel en el mundo, a decir de (Castellanos & Morales, 2012) son las siguientes: a) buen rendimiento total y su bajo consumo de combustible; b) el costo del Diesel es inferior a muchos otros combustibles en relación a su poder calorífico inferior; c) durante las paradas un motor Diesel tiene un consumo de combustible casi nulo; d) los motores Diesel presentan una rápida respuesta en marcha pudiendo llegar a su tope de carga en pocos minutos y; e) tiene un riesgo de incendio bajo porque el Diesel no se inflama fácilmente.

Así entendido, el uso de este tipo de motores ha aumentado cada vez en la industria y transporte terrestre y marítimo; siendo que todos los motores diésel o motores térmicos de combustión interna contaminan, lo cual es inevitable debido a que en el proceso de combustión (quemar) de un combustible fósil de base hidrocarburos (gasolina, gasóleo, fuelóleo, búnker fuel, gas butano, gas propano, gas metano, entre otros) se producen ciertos gases contaminantes que afectan la salud de los seres humanos y deterioran el medio ambiente natural.

Sobre este particular, (Rodrigo, 2009) indica, en los motores Diesel de gasoil, el principal componente nocivo son las partículas sólidas (C+) con una proporción superior entre el 60% al 80% y en menor medida, el resto de contaminantes. Los valores de los gases tóxicos contenidos en los gases de escape producidos por los motores Diesel son aproximadamente los referidos en la tabla adjunta.

Tabla 1. Valores de los gases tóxicos contenidos en los gases de escape producidos por los motores Diesel

CO ppm	HC ppm	C+ g/m ³	NO _x ppm	SO _x ppm
5-1,500	20-400	0.1-0.25	50-2,500	10-150

Nota. Fuente: (Rodrigo, 2009)

Los motores diésel generalmente tienen niveles de emisión de Óxidos de Nitrógeno (NO_x) más alto que los motores de gasolina, ya que los motores diésel funcionan con exceso de aire. El exceso de aire disponible proporciona suficiente oxígeno para una combustión más completa. Esta operación eficiente reduce las emisiones globales de Hidrocarburos (HC) y Monóxido de carbono (CO), en comparación con un motor de gasolina. Sin embargo, debido a las temperaturas más altas de la cámara de combustión, los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) incrementan el riesgo de emitir gases contaminantes.

Las emisiones contaminantes que producen los motores de combustión interna son una preocupación a nivel mundial, por lo que se han propuesto leyes y regulaciones respecto a las emisiones de gases que obligan a los fabricantes a situarse a la vanguardia tecnológica para que se diseñen motores que cumplan con las normativas de emisiones que se promueve en cada país (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014). En la misma línea de ideas, (Pérez Darquea, 2017) plantea, esto ha implicado la necesidad en diversos países a nivel global de emitir regulaciones en el control de emisiones de gases contaminantes debido a que los efectos de estos residuos químicos son muy notables en el daño al ecosistema en general, lo cual se ve reflejado en el calentamiento global y en el efecto invernadero, esto ha permitido que la industria automotriz se concentre en producir vehículos con bajo índice de emisiones para colaborar con el cuidado del medio ambiente. En torno a esto, estima (Consuegra, 2007) en los últimos años se ha registrado una vertiginosa revolución en la tecnología diésel, pasando de presiones de inyección (indirecta) de 130 bar a presiones (directas) de más de 2.000 bar. Esto ha traído consigo un importante incremento del rendimiento, unido a una reducción del consumo de hasta un 20 % y de las emisiones (sobre todo NO_x y partículas).

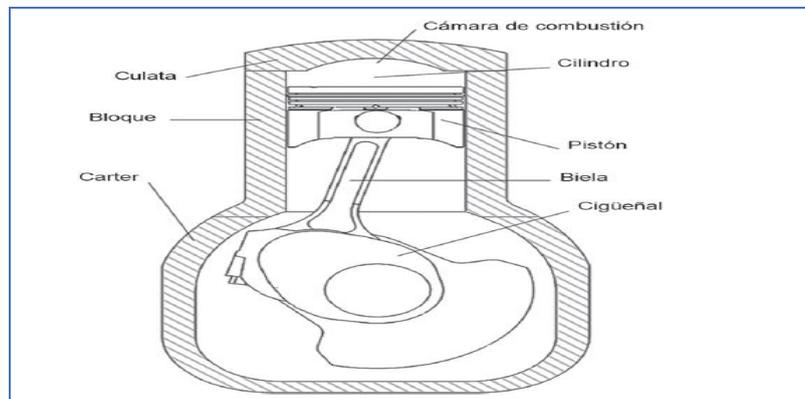
A su vez, (García, Chacón, & Chaves, 2013) señalan que en los últimos años, debido al gran interés que ha despertado el uso de biocombustibles, han surgido varios modelos de combustión que buscan evaluar el desempeño de motores Diésel alimentados con nuevos combustibles. Planteado esto, el objetivo del presente estudio corresponde a indagar sobre el estado de la cuestión de los modelos de motores a diésel, a partir de una revisión de la literatura.

El motor a diésel: aspectos fundamentales

El motor diésel es un motor térmico de combustión interna en el cual el encendido se logra por la temperatura elevada producto de la compresión del aire en el interior del cilindro. Funciona mediante la ignición de la mezcla aire-gas sin chispa. La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo motor, compresión. El combustible diésel se inyecta en la parte superior de la cámara de compresión a gran presión, de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión. Como resultado, la mezcla se quema muy rápidamente. Esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia abajo. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, transformando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación (Consuegra, 2007).

En la misma línea de ideas, (Chiriboga, 2014) expresa, un motor diésel funciona mediante el encendido del combustible al ser inyectado muy pulverizado y con alta presión en una cámara de combustión que contiene aire a una temperatura superior a los motores de gasolina, esta es la llamada auto inflamación". Se denominan motores de combustión interna porque el estado térmico se genera en el propio fluido que evoluciona en el motor (Rovira & Muñoz, 2015). La siguiente figura ilustra el esquema básico de los componentes de un motor de combustión interna alternativo (Rovira & Muñoz, 2015).

Figura 1. Componentes de un motor de combustión interna alternativo



Nota. Fuente: (Rovira & Muñoz, 2015).

Siguiendo con los aportes de (Rovira & Muñoz, 2015) a continuación se describen los elementos básicos del motor de combustión interna alternativo:

Pistón: Elemento con movimiento rectilíneo alternativo. Es el émbolo del mecanismo biela-manivela y aumenta o disminuye el volumen del cilindro.

Biela: Elemento que, junto con la manivela, convierte el movimiento lineal del pistón en el rotativo del cigüeñal.

Cigüeñal: Elemento rotativo del motor. En él se integra la manivela del mecanismo

Cilindro: Es el volumen que aloja el fluido de trabajo.

Cámara de Combustión: Es el volumen que queda por encima del pistón al finalizar la compresión y donde básicamente tiene lugar la combustión de la mezcla.

Culata: Elemento que constituye el cerramiento superior de los cilindros.

Bloque: Elemento que contiene los cilindros.

Cárter: Cierre inferior del motor. Contiene el aceite para la lubricación.

El Proceso de Combustión

El proceso de combustión es el aspecto más importante de un motor de combustión interna, por lo que su modelado es de gran relevancia al simular el comportamiento global de un motor Diésel (García, Chacón, & Chaves, 2013) Los motores térmicos de combustión interna solamente son capaces de transformar entre el 35 y 50%", en energía y potencia (Palomo & Pilatax, 2019).

Funcionamiento del motor diésel

El motor Diesel es un motor térmico de combustión interna alternativo en el cual el encendido del combustible se logra por la temperatura elevada que produce la compresión del aire en el interior del cilindro, según el principio del ciclo del DIESEL. También llamado motor de combustión interna, a diferencia del motor de explosión interna comúnmente conocido como motor de gasolina (Castellanos & Morales, 2012). Un motor de combustión interna tiene como propósito la producción de trabajo mecánico a partir de la energía química contenida en un combustible. En los motores de combustión interna la energía es liberada por la quema u oxidación del combustible dentro del motor (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014).

El motor Diesel es un motor de combustión interna cuyo funcionamiento se basa en el ciclo Otto (por los alemanes Otto y Langen), a diferencia que se inyecta combustible dentro del pistón una vez realizada la compresión del aire (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014). El ciclo termodinámico Otto que fue aplicado inicialmente en un motor de cuatro tiempos, se basa en las siguientes etapas: a) Admisión, b) Compresión, c) Expansión, d) Escape.

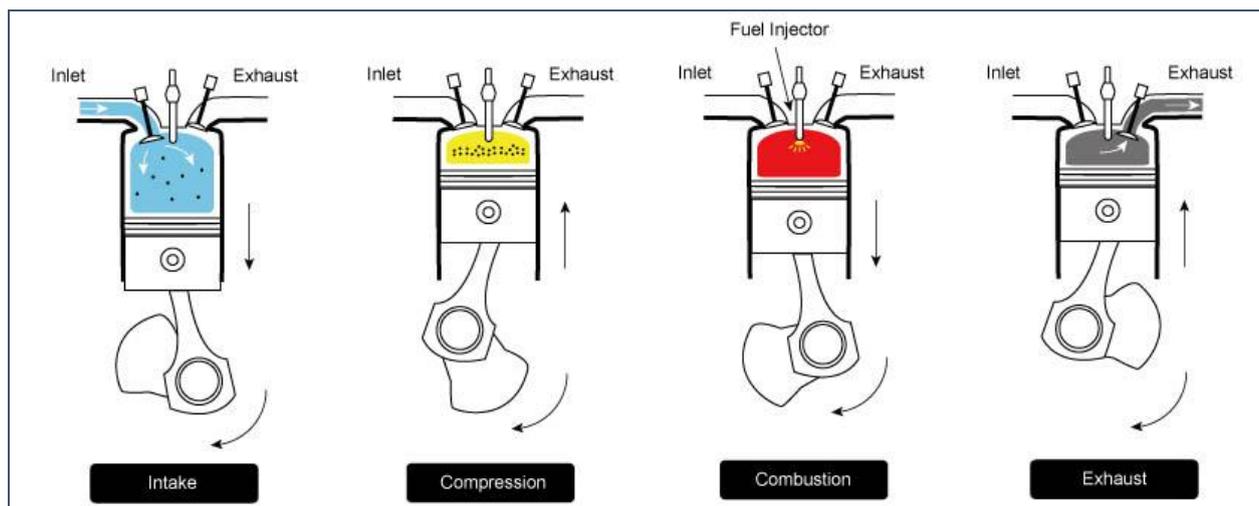
a.-) Admisión: La presión del gas durante la aspiración es inferior a la presión atmosférica, por lo tanto, el cierre de la válvula de admisión se produce después que el pistón llega al extremo inferior de su carrera, es decir, se prolonga el período de admisión y entra en el cilindro la máxima cantidad de mezcla de aire y combustible (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014). Proceso en el que tiene lugar la entrada del fluido de trabajo (mezcla aire-combustible o aire, dependiendo del tipo de motor) (Rovira & Muñoz, 2015). Con el pistón situado en el extremo superior del recorrido, las válvulas de admisión se abren para dejar entrar la mezcla de combustible atraída por el vacío en la cámara de combustión a medida que desciende el pistón y ayudada por la presión de los inyectores (Martín, 2019).

b.-) Compresión: El gas cede calor al cilindro, por consiguiente, el gas se enfría y adquiere menos presión (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014). Proceso fundamental para incrementar el rendimiento termodinámico del motor (Rovira & Muñoz, 2015). Con las válvulas cerradas el pistón comienza a subir hasta llegar de nuevo a su extremo superior comprimiendo la mezcla de aire y combustible (Martín, 2019).

c.-) Expansión: El aumento de la temperatura en el interior del cilindro durante la combustión produce en la expansión, que los gases cedan calor al cilindro y se enfrían, dando como resultado una presión menor (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014). La combustión es un mecanismo de reacciones químicas globalmente muy exotérmicas mediante las cuales se genera el estado térmico del fluido de trabajo (alta presión y temperatura) (Rovira & Muñoz, 2015). Con la cámara de combustión llena de mezcla y las válvulas aún cerradas se genera una detonación bien iniciada por una chispa eléctrica (bujía en los motores de gasolina) o por la propia autodetonación por compresión (diésel). La fuerza generada por la explosión obliga a bajar al pistón (Martín, 2019).

La combustión no es instantánea y el volumen de la mezcla va variando mientras se propaga la inflamación. En este caso, el perfeccionamiento que se puede aportar para la obtención de un máximo trabajo, será en la elección en que ha de producirse el encendido. La chispa debe saltar antes de que el pistón haya terminado la carrera de compresión, de esta manera aumenta considerablemente la presión alcanzada después de la combustión y de esta forma el trabajo ganado será significativo.

Figura 2. Ciclo del motor diesel



Nota. Fuente: (Top One Power)

Para un motor diésel, el ciclo en un motor de combustión interna consiste en las fases de inducción, compresión, combustión y escape. Primero se comprime el aire y luego se inyecta el combustible diésel. El aire se calienta cuando se comprime. Finalmente, el combustible diesel se enciende (Top One Power).

Los procesos de admisión y de escape constituyen lo que se denomina renovación de la carga y en ellos se intercambia masa con el exterior del motor. Los procesos de compresión, combustión y expansión constituyen el ciclo termodinámico del motor y son procesos confinados en los que no hay intercambio de materia con el exterior (Rovira & Muñoz, 2015).

Tipos de motor Diesel

Existen diferentes tipos de motores de diésel que se dividen de acuerdo a los tiempos de funcionamiento y combustión, la disposición de los cilindros y el efecto de los pistones (Castillo Santander & Villar Arregocés, 2022). El motor de encendido por compresión o motor diésel es el tipo que se ha utilizado más comúnmente para la generación de energía, particularmente en situaciones fuera de la red. La mayoría de los motores diésel son de cuatro tiempos, pero algunos motores diésel muy grandes y de baja velocidad se basan en un ciclo de dos tiempos (Breeze, 2018).

Los motores de 4 tiempos: como su nombre lo refleja, tienen un ciclo de combustión que consta de 4 tiempos. Estos son: Admisión, compresión, explosión o ignición, escape. A los motores 4 tiempos también se les conoce como Otto, debido a que su creador fue el ingeniero alemán Nikolaus Otto en 1867 (Castillo Santander & Villar Arregocés, 2022)

Los motores de 2 tiempos: se trata de motores más sencillos con menos cantidad de piezas mecánicas. Aunque también trabaja con un sistema de combustión interna, tal como el motor 4 tiempos, realiza todo el ciclo en una sola vuelta del cigüeñal o en dos carreras del pistón. Otra gran diferencia de este motor con respecto al anterior es que dirige el intercambio gaseoso por el pistón y no por las válvulas, como lo hace el de 4 ciclos (Castillo Santander & Villar Arregocés, 2022).

Los motores de cuatro tiempos se utilizan principalmente en automóviles, autobuses y camiones debido a su menor producción de ruido y mayor estabilidad en movimiento. Los motores de dos tiempos se utilizan mejor en scooters, motocicletas, barcos, donde el espacio puede presentar una limitación y el ruido no es un problema. Las embarcaciones marinas favorecen el uso de motores de dos tiempos en lugar de los de cuatro tiempos debido al uso de combustible, el motor eficiencia y relación potencia-peso (Alturki, 2017).

Cilindros en línea: este tipo de motores tienen una disposición paralela en línea de los cilindros, la cual es

considerada la más simple. Esta clase de distribución es habitual en motores que tienen 8 o menos cilindros (Castillo Santander & Villar Arregocés, 2022).

Motores con cilindros en V: Cuando los motores tienen más de 8 cilindros, una armadura en línea no resulta lo suficientemente rígida, en algunas ocasiones. Por eso, se aplica la disposición en V, con un par de bielas conectadas en el mismo muñón para reducir la longitud e incrementar la resistencia del cigüeñal. Además de clasificarse por la disposición de los cilindros, también pueden segmentarse por sus posiciones, distribución y formas, como motor horizontal, motor de unidad múltiple y motor con cigüeñal vertical (Castillo Santander & Villar Arregocés, 2022).

Motores de efecto simple: cuando hablamos de tipos de motores diésel, este no puede quedar fuera, ya que es uno de los más comunes. los motores de efecto simple son aquellos que utilizan una sola cara del pistón para producir la potencia necesaria para el desplazamiento (Castillo Santander & Villar Arregocés, 2022).

Motores de doble efecto: Son aquellos que usan ambas caras del pistón y, también, los dos extremos del cilindro para producir y desarrollar la potencia. Este tipo de motores son construidos únicamente para unidades grandes, generalmente de carga, que no necesitan alcanzar velocidades muy elevadas. También, en las últimas décadas, se han desarrollado motores con pistones opuestos dentro de un mismo cilindro, tomando como referencia los de doble efecto (Castillo Santander & Villar Arregocés, 2022). Por su parte, (Consuegra, 2007) manifiesta que el motor diésel se clasifica de acuerdo a las siguientes características (ver tabla 2):

Tabla 2. Clasificación del motor diesel

Según el ciclo de trabajo Motores de cuatro tiempos Motores de dos tiempos	De acuerdo al control de la combustión Motores de inyección directa Motores con cámara de precombustión Motores con cámara de turbulencia Motores con cámara auxiliar de reserva de aire
Según la disposición de los cilindros Motores en línea Motor en "V" Motor de cilindros opuestos Motores de cilindros radiales Cilindros en "W"	Según el número de cilindros Monocilíndricos Policilíndricos
De acuerdo a la refrigeración Refrigerado por agua Refrigerado por aire	De acuerdo al sistema de alimentación de aire De aspiración natural Sobrealimentados

Nota. Elaboración propia. **Fuente:** (Consuegra, 2007)

METODOLOGIA

El presente estudio se desarrolló bajo una investigación de tipo revisión documental debido a que se hizo necesario examinar las bases bibliográficas como los conceptos de autores nacionales e internacionales en cuanto a los modelos de motores diésel, así mismo, es de carácter descriptivo por cuanto pretende caracterizar aspectos concernientes a la temática antes mencionada. Según (Finol & Nava, 2003) en cuanto al tipo de investigación documental: Los datos se recogen de fuentes indirectas: documentos de diversa índole, elaborados o procesados con anterioridad al trabajo. Las fuentes documentales son muy variadas; orales, escritas, fonográficas, electrónicas; manifestaciones artísticas y culturales. En este caso particular obedecen a documentos electrónicos obtenidos en base de datos de revistas indexadas y repositorios digitales de universidades nacionales e internacionales. En cuanto a la investigación descriptiva (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014) plantean que puede definirse como: Aquel tipo de investigación que busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. En tal sentido, se operacionalizó mediante el empleo del análisis de contenido con base en la estructura semántica presente en el discurso de los autores de las tesis/artículos/libros consultados.

El método empleado fue el inductivo, según (Camacho, Fontaines, & Urdaneta, 2005) en virtud de lo cual, se analizaron las fuentes documentales para llegar a construir generalizaciones que permitieron ampliar el conocimiento sobre los modelos de motores a diésel.

La recolección de datos en la presente investigación se realizó utilizando la técnica de la Observación Documental, al respecto, (De Pelekais, Finol, Neuman, & Parada, 2005) expresan: "la técnica de observación documental es un proceso operativo que consiste en obtener y registrar organizadamente la información en libros, revistas, diarios, informes científicos, entre otros" (p.96). De esta manera, los resultados oscilaron entre 38 artículos/tesis, del total de las fuentes consultadas, se seleccionaron 06 artículos científicos/tesis que se ajustaron a las variables en estudio, al objetivo de la investigación y los criterios establecidos, tales como año, tipo de publicación, idioma e información presentada.

Las técnicas de análisis y procesamiento de la información en cuanto a la parte documental de la investigación, se recurrió a la técnica de análisis cualitativo. En tal sentido, se desarrolló el instrumento de análisis de datos denominado análisis de contenido que de acuerdo a la opinión de (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014) se efectúa por medio de la codificación, que es el proceso a través del cual las características relevantes del contenido de un mensaje son transformadas a unidades que permitan su descripción y análisis preciso. Lo importante del mensaje se convierte en algo susceptible de describir y analizar. (p. 303), lo cual permitió la discusión de resultados y la elaboración de las conclusiones de rigor. Para llevar a cabo la presentación de los documentos seleccionados como muestra de análisis se elaboró una tabla con los datos del autor(es), año de publicación u los resultados y/o conclusiones más relevantes.

RESULTADOS

En esta sección se presentan de forma organizada las fuentes bibliográficas documentales seleccionadas que sirven de sustento para el análisis sobre los modelos de motores a diésel y las regulaciones medioambientales.

Tabla 3. Fuentes documentales seleccionadas como muestra de análisis

Autor (es)/año	Resultados y/o conclusiones
(Nagendra, Kiran, Santosh , Swetha, & Saleemuddin, 2021)	Realizó prueba de rendimiento de biodiesel en un motor a cuatro tiempos refrigerado por agua. El aceite de coco puro muestra los mejores resultados
(Wang, Zhong, Ma, Zheng, & Yao, 2020)	La red Neuronal Artificial (ANN) y las funciones polinómicas se pueden emplear para predecir el comportamiento en cuanto a rendimiento y emisión de un motor de combustión interna de circuito cerrado
(Alcan, 2019)	Se han logrado alcances notables en los sistemas de motores diesel modernos en cuanto al tratamiento de aire, inyección del combustible, combustión y post-tratamiento.
(Blinov, Malastowski, & Myagkov, 2019)	La reducción catalítica selectiva (SCR) sigue siendo la mejor técnica para la eliminación de NOx de los gases de escape de vehículos con motor diesel
(Lara, 2019)	Diseño y modificación del sistema de admisión en un motor de combustión interna encendido por compresión (MCI-EC), monocilíndrico para usar gas licuado de petróleo (GLP) con excelentes resultados importantes en su momento de acción operativa.
(Rocha, Llanes, Celi, & Peralta, 2019)	Evaluó las prestaciones mecánicas y de opacidad de los combustibles diésel y mezclas de diésel/biodiésel en vehículos tipo camioneta a 2810 msnm. Los combustibles con mezclas de biodiésel y con la adición de aditivo reducen la emanación de hollín. La mezcla B10A (10% biodiésel con aditivos), es la más óptima para reemplazar al diésel puro, logrando mantener el par motor y la potencia sin variaciones significativas con relación al diésel para un nivel del 95.0 % de confianza.

Nota. Elaboración propia. Información obtenida de las fuentes documentales seleccionadas

En la actualidad se encuentra que las investigaciones sobre los modelos de motores a diesel están centrados en la búsqueda de soluciones para evitar las emisiones de contaminantes emanados del proceso de combustión interna de estos motores, debido a las regulaciones que se han venido estableciendo, tanto a nivel nacional como internacional, a fin de que los nuevos diseños sean rendidores y efectivos y a la vez menos contaminantes. En este sentido (Nagendra, Kiran, Santosh , Swetha, & Saleemuddin, 2021) realizó una prueba de rendimiento en un motor diesel de 4 tiempos refrigerado por agua, usando como combustible biodiésel el aceite de coco y una mezcla formada por 10% de aceite de coco y 90% diésel, llamada B10, concluye que el aceite de coco que se puede usar directamente en motores diesel sin ninguna modificación muestra mejores características, de ahí, afirma que los motores diésel, cuando funcionan con biodiésel, reducen los problemas de calentamiento global y los niveles de emisión.

En sentido similar (Rocha, Llanes, Celi, & Peralta, 2019) en su estudio realizan pruebas con varias mezclas de biodiesel y diésel/biodiésel en vehículos tipo camioneta a 2810 msnm, mediante pruebas dinamométricas. Se obtiene que la sustancia denominada B10A (10% biodiésel con aditivos), es la más óptima para reemplazar al diésel puro. Además, los combustibles con mezclas de biodiésel y con la adición de aditivo reducen la emanación de hollín bajo el criterio de opacidad hasta aproximadamente un 37%.

Sobre este particular, (Alcan, 2019) argumenta que a razón de las regulaciones internacionales restrictivas para las emisiones, las demandas competitivas de motores más potentes y el aumento de los precios del combustible obligan a los fabricantes de vehículos y motores pesados a buscar soluciones para reducir las emisiones y cumplir con los requisitos de rendimiento, siendo que se han logrado avances notables en los sistemas de motores diésel modernos, como el tratamiento del aire, la inyección de combustible, la combustión y el postratamiento.

En concordancia con estos señalamientos (Blinov, Malastowski, & Myagkov, 2019) también hace referencia a la necesidad de que en la fabricación de los motores modernos los fabricantes deben mejorar la reducción de emisiones en el motor y en el postratamiento, así mismo considera que la reducción catalítica selectiva (SCR) sigue siendo la técnica más eficaz para eliminación de óxidos de nitrógeno (NOx) de los gases de escape de vehículos con motor diésel. En línea con esto, (Lara, 2019) destaca las ventajas del diseño y modificación del sistema de admisión en un motor de combustión interna encendido por compresión (MCI-EC), monocilíndrico para que pueda ser usado a partir del combustible base de gas licuado de petróleo (GLP) con excelentes resultados importantes en su momento de acción operativa.

También se encuentra que los avances tecnológicos son un inestimable apoyo a la hora de evaluar el rendimiento y las emisiones en los motores diesel, al respecto, (Wang, Zhong, Ma, Zheng, & Yao, 2020) resalta que el método de control de circuito cerrado de respuesta rápida se está convirtiendo en una demanda urgente del control de combustión de los modernos motores de combustión interna. La red neuronal artificial (ANN) y las funciones polinómicas se utilizan para predecir el rendimiento del motor y la emisión basado en siete parámetros extraídos de la información de seguimiento de presión en el cilindro. De esta forma, tanto las emisiones del motor como la eficiencia térmica pueden ser predichas virtualmente de una manera mucho más rápida, de modo que permita una forma prometedora de lograr resultados rápidos y control de combustión de circuito cerrado confiable.

Por su parte, (Blinov, Malastowski, & Myagkov, 2019) argumentan sobre el algoritmo automático de malla para realizar simulaciones numéricas para el catalizador SCR a gran escala. El modelo fue validado por los datos experimentales disponibles en la literatura. Se evaluó el efecto de la falta de uniformidad de la velocidad del gas en la entrada del catalizador sobre la eficiencia general de reducción de NOx.

CONCLUSIONES

Tomando en consideración el objetivo planteado del presente estudio que corresponde al abordaje de los modelos de motores a diesel, a partir de una revisión de la literatura existente sobre la temática en cuestión, se establecen las siguientes conclusiones:

a.-) Existen diferentes tipos de motores de diésel que se dividen de acuerdo a los tiempos de funcionamiento y combustión, la disposición de los cilindros y el efecto de los pistones (Castillo Santander & Villar Arregocés, 2022).

b.-) El motor de encendido por compresión o motor diesel es el tipo que se ha utilizado más comúnmente para la generación de energía, particularmente en situaciones fuera de la red. La mayoría de los motores diésel son de cuatro tiempos, pero algunos motores diésel muy grandes y de baja velocidad se basan en un ciclo de dos tiempos (Breeze, 2018).

c.-) El motor diesel según Consuegra (2007) se puede clasificar de acuerdo a características tales como: ciclo de trabajo (motor de cuatro tiempo y de dos tiempos); control de la combustión (motores de inyección directa, con cámara de precombustión, cámara de turbulencia, cámara auxiliar de reserva de aire); según la disposición de los cilindros (motores en línea, motores en V, motor de cilindros opuestos, motor de cilindros radiales, cilindros en W); según el número de cilindros (monocilindros y policilindros); de acuerdo a la refrigeración (refrigeración por agua y refrigeración por aire) y; de acuerdo al sistema de alimentación de aire (de aspiración natural y sobrealimentados).

d.-) Las emisiones contaminantes que producen los motores de combustión interna son una preocupación a nivel mundial, pues emiten elementos nocivos que se encuentran en los gases de escape de los motores diésel como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NOx) e hidrocarburos (HC). Además de un gran número de partículas finas y ultrafinas, perjudiciales para la salud de los seres humanos y representan aspectos contaminantes para el medio ambiente.

e.-) Se han emitido diversas regulaciones a nivel internacional y nacional que obligan a los fabricantes de motores diesel modernos a adecuar sus diseños al cumplimiento de tales ordenanzas.

f.-) Dentro de las soluciones que se han estado estudiando emerge el uso del biodiesel elaborado a partir de diversas mezclas de sustancias naturales como el acetite de coco y/o combinaciones diesel/biodiesel para lograr mantener el rendimiento y la efectividad del motor, además de cumplir con las normativas del cuidado medioambiental.

REFERENCIAS

- Alcan, G. (2019). Data Driven Nonlinear Dynamic Models for Predicting Heavy-Duty Diesel Engine Torque and Combustion Emissions. *Universidad Sabanci. Tesis doctoral*. <https://core.ac.uk/reader/328813070>.
- Alturki, W. (2017). Comparación y aplicación de motores marinos de cuatro y dos tiempos. *Revista de Investigación y Aplicación de Ingeniería*; vol. 7, Número 4, https://www.academia.edu/32552009/Four_Stroke_and_Two_Stroke_Marine_Engines_Comparison_and_Application, pp. 49-56.
- Basté González, J. (2013). Determinación del comportamiento de los componentes contaminantes en el sistema de alimentación Diesel. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*; Vol.22, No.4. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000400011.
- Blinov, A., Malastowski, N., & Myagkov, L. (2019). Development of the model for a diesel engine catalytic converter. *E3S Web of Conferences 140, 06013 (2019)*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201914006013>. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/66/e3sconf_eece18_06013.pdf, pp.1-5.
- Breeze, P. (2018). *Piston Engine-Based Power Plants. Capítulo 5 - Motores diésel*. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-03647-1>. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128129043/piston-engine-based-power-plants?via=ihub>.
- Camacho, H., Fontaines, T., & Urdaneta, G. (2005). La trama de la investigación y su epistemología. *Telos, vol. 7, núm. 1*, <https://www.redalyc.org/pdf/993/99318830001.pdf>, pp. 09-20.
- Castellanos, G., & Morales, M. (2012). Reconversión tecnológica para sustituir un motor a DIESEL por motor ELÉCTRICO en Compactadora R&R en estado estacionaria en la Empresa Promatin S.A. *Universidad de Medellín. Colombia. Trabajo de titulación*. <https://core.ac.uk/download/pdf/51194696.pdf>, pp.82.
- Castillo Santander, W., & Villar Arregocés, G. (2022). Propuesta para el Diseño de un plan de Mantenimiento basado en la Metodología RCM: caso de estudio: Motor Diésel del grupo electrógeno GE-143 campo de Producción Rubiales, Puerto Gaitán, Meta. *Universidad ECCI. Bogotá, Colombia. Trabajo de Especialización*. <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/3278/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, pp.90.
- Chiriboga, E. (2014). *Análisis de rendimiento y calidad del combustible a diesel*. Argentina: Editex.
- Consuegra, S. (2007). Motores Diesel. Guía de Estudio. *Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico (ITSA). Colombia*. <https://www.unibarranquilla.edu.co/docs/17-S-Consuegra-Modulo-Motores-Diesel.pdf>, pp.117.
- De Pelekais, C., Finol, M., Neuman, J., & Parada, J. (2005). *El ABC de la Investigación (Una Aproximación Teórico-Práctica)*. Maracaibo, Venezuela: Ediciones Astro Data, S.A.
- Erazo Mora, C. (2022). Diagnóstico de Motores Diesel Mediante Análisis de Emisiones de Gases. *Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil-Ecuador. Trabajo de titulación*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23656/1/UPS-GT003999.pdf>, pp.78.
- Finol, T., & Nava, H. (2003). *Procesos y Productos en la Investigación Documental*. Maracaibo, Venezuela: Editorial de la Universidad del Zulia (EDILUZ).
- García, G., Chacón, J., & Chaves, A. (2013). Modelado de la combustión en motores Diésel: revisión del estado del arte. *Revista ION; Vol.26. No.1*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2013000100005.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México.D.F: Editorial Mc Graw-Hill.
- Huilca, A., & Haro, S. (2019). Análisis de la eficiencia de un motor diésel, mediante el estudio estadístico de fallos de filtros de combustible. *Ciencia Digital; Vol. 3, N°3, ISSN: 2602-8085. DOI: https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.660*, pp. 431-445.
- Lara, A. (2019). Diseño y montaje del sistema de admisión GLP para motor diesel. *Fundación Universitaria Los Libertadores. Bogotá. Colombia. Trabajo de titulación*. https://repositorio.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/3012/Lara_Andr%C3%A9s_2019.pdf?sequence=1, pp.62.
- Martín, J. (2019). El funcionamiento de un motor de combustión, paso a paso y en vídeo. <https://www.motorpasion.com/revision/funcionamiento-motor-combustion-paso-a-paso-video>.
- Montúfar, P., Cáceres, D., Buenaño, L., & Noboa, G. (2018). Análisis de emisiones de óxidos de nitrógeno de un motor de ciclo OTTO SI, a partir del comportamiento de la relación aire-combustible y del avance del encendido. *Ciencia Digital; Vol. 2, N°2, ISSN: 2602-8085*. <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/112>, pp. 441-457.
- Nagendra, S., Kiran, A., Santosh, B., Swetha, D., & Saleemuddin, S. (2021). Análisis de rendimiento del motor CI de cuatro tiempos usando Bio-Diesel. *Revista Internacional de Ingeniería y Tecnología Avanzada (IJEAT), volumen 8, número 5. ISSN: 2249-8958*, pp.221-224.
- Palomo, K., & Pilatax, E. (2019). Diseño y construcción de un sistema de medición de consumo específico de combustible con la utilización de un software para la optimización del dinamómetro del laboratorio de motores diésel-gasolina. *Escuela Politécnica del Ejército (ESPE). Ecuador. Trabajo de titulación*. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8105/1/T-ESPEL-0980.pdf>, pp.57.
- Pérez Darquea, D. (2017). Estudio De Emisiones Contaminantes Utilizando Combustibles Locales. *INNOVA Research Journal, Vol 2, No. 23-34. ISSN 2477-9024*, pp.23-34.
- Rafael Morales, M., & Hernández Guzmán, A. (2014). Caracterización de un Motor de Combustión Interna Con dos Tipos de Combustible. *Instituto Mexicano del Transporte. ISSN 0188-7297*. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt417.pdf>, pp.85.
- Rocha, J., Llanes, E., Celi, S., & Peralta, D. (2019). Efecto de la Adición de Biodiésel en el Rendimiento y la Opacidad de un Motor Diésel. *Información Tecnológica; Vol. 30. N° 3*. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300137>. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v30n3/0718-0764-infotec-30-03-00137.pdf>, pp.137-146.
- Rodrigo, J. (2009). Emisiones contaminantes: Catalizadores para motores DIESEL. *Mecánica y electrónica; N° 39*. http://www.centro-zaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R39_A7.pdf, pp.1-4.
- Rovira, A., & Muñoz, M. (2015). *Motores de Combustión Interna*. Madrid, España: Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). pág.511.
- Top One Power. (s.f.). ¿Qué son los motores diésel y cómo funcionan? <https://www.topone-power.com/info/what-are-diesel-engines-and-how-do-they-work/>.
- Wang, H., Zhong, X., Ma, T., Zheng, Z., & Yao, M. (2020). Model Based Control Method for Diesel Engine Combustion. *Energies 2020, 13, 6046; doi:10.3390/en13226046*