



UNIVERSIDAD · ECCI

EDITORIAL

POSTRATAMIENTO DE GASES DE ESCAPE

**Control de emisiones en el motor Diesel o
motor de encendido por compresión MEC**

Armando Alfredo Hernandez Martin



Postratamiento de Gases de Escape

Control de emisiones de motor Diésel o
motor de encendido por compresión MEC

Armando Alfredo Hernández Martín



Fernando Arturo Soler López
Rector de la Universidad ECCI

Víctor Romero Huertas
Vicerrector Académico

Carlos Enrique Masmela González
Vicerrector Administrativo

Hernando Curtidor Castellanos
Vicerrector de Investigación

Débora Lorena Ramírez Vargas
Decana de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

Angélica Rodríguez Vargas
Editora

Tatiana Román
Wilmer Ferney Núñez Méndez
Correctores de estilo

Bryam Esteban Nopia Murcia
Diagramador

Copyright © 2023 Armando Alfredo Hernández Martín

Todos los derechos reservados.

ISBN: 978-958-8817-73-6

Para mi madre, quien aún con el paso de los años sigue siendo una gran mujer; para mi esposa, compañera de alegrías, deseos, placeres y luchas; para mi hijo Cristian, hombre dedicado a la academia y al mundo; para Emmanuel, noble y amoroso hijo; y para Isa, el sueño hecho realidad.

RECONOCIMIENTOS

Este libro que tienen en sus manos es el resultado de un trabajo arduo de investigación que toma como base la información de marcas automotrices reconocidas, libros especializados y recursos educativos abiertos. Además, una variedad de fuentes que incluyen manuales digitales y físicos, sitios web especializados y libros especializados en la materia. Es importante destacar que nada de esto habría sido posible sin la generosidad de amigos, estudiantes y profesionales que tuvieron a bien dar de su tiempo y de su biblioteca personal.

Es gracias a la información recopilada de estas fuentes que he podido crear un recurso integral que abarca una amplia gama de temas relacionados con los elementos que forman el frente tecnológico de los sistemas de postratamiento de gases de escape para el motor diésel. Se ha explorado en este libro desde la arquitectura mecánica del motor diésel moderno hasta las últimas innovaciones que esta arquitectura ha sufrido en aras de la disminución su del impacto al medio ambiente. Espero que esta información les sea de utilidad tanto a entusiastas como a profesionales del sector.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que han contribuido a este proyecto, ya sea compartiendo su conocimiento en línea, publicando libros técnicos o creando manuales detallados. Su generosidad y dedicación han hecho posible la realización de este libro. La información técnica, las gráficas y las ideas primordiales, fueron tomadas de las siguientes empresas del sector automotriz. Para ellos mi más sincero agradecimiento y respeto por los aportes que realizan y la posibilidad de poder consultarlos y darlos a conocer a los interesados:

- Van Doorne's Automobiel Fabriek (DAF)
- Cummins Inc.
- Detroit Diesel Corporation (DDC)
- Mercedes-Benz AG
- MAHLE Aftermarket
- Volkswagen
- Bosch GmbH
- Denso
- Citroën
- Volvo
- Komatsu
- Delphi
- Scania
- Volvo

Con gratitud

Armando Alfredo Hernández Martín

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. EL MOTOR DIÉSEL MODERNO	3
1.1 Parámetros del constructivos en el motor diésel moderno	3
1.1.1. Novedades alternativas y tecnológicas del motor diésel moderno	4
2. COMBUSTIBLE PARA MOTOR DIÉSEL	10
2.1 Propiedades fisicoquímicas de los combustibles	12
2.1.1 Densidad	12
2.1.2 Viscosidad	13
2.1.3 Volatilidad	14
2.1.4 Estabilidad	14
2.1.5 Impurezas	15
2.1.6 Poder calorífico	15
2.2 Normas de calidad y de orden legal	17
2.2.1 Marco regulatorio colombiano	17
3. Sobrealimentación DE AIRE	20
3.1 Pilares Tecnológicos	20
3.2 Intercambiadores de calor para aire de carga del turbo	28
4. Sistemas de Inyección con Gestión Electrónica para Motor Diésel	30
4.1 Sistema de combustible	31
4.1.1 Sistema de inyección de riel común	33
4.2.2 Sistema de inyección unidad - inyector	35

5. PROCESO DE LA COMBUSTIÓN EN MOTOR DIÉSEL	37
5.1 Retardo de encendido	39
5.2 Elevación de presión o combustión rápida	39
5.3 Combustión lenta o combustión controlada	40
5.4 Formación de la mezcla	41
6. RETOS PARA EL CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES	43
6.1 Marco legal para el control de emisiones	43
6.1.1 Antecedentes, normatividad y legislación	43
6.1.2 Acciones en Bogotá para el mejoramiento de la calidad del aire y el control de emisiones	47
6.2 Formación de contaminantes producto de la combustión	50
6.2.1 Óxidos de nitrógeno	51
6.2.2 Monóxido de carbono	51
6.2.3 Hidrocarburos	52
6.2.4 Partículas en suspensión	53
6.2.5 Emisiones de efecto invernadero, aportantes y estrategias de mitigación	55
7. POSTRATAMIENTO DE GASES DE ESCAPE	57
7.1 Categorización de los sistemas de postratamiento de gases de escape	60
7.1.1 Reactores térmicos	60
7.1.2 Reactores catalíticos	61
7.1.3 Reactores químicos	63
7.1.4 Filtros químicos	64
7.1.5 Filtros físicos	64
REFERENCIAS	67

FIGURAS

Figura 1. Línea de motores DAF. Motorok	3
Figura 2. Motor Cummins ISF. Automotores-rev	4
Figura 3. Eyector de aceite. Cummins.	5
Figura 4. Motor Detroit Diésel. TurboSquid.	5
Figura 5. Pistón Monotherm. Detroit Diésel.	6
Figura 6. Múltiple de admisión. Heavytruckparts	6
Figura 7. Motor Br 500. Manufacturas, proveedores y productos de China.	7
Figura 8. Geometría de los anillos motor BR 500. Mercedes Benz (2022).	7
Figura 9. Disposición valvular de flujo cruzado. Mercedes Benz (2022).	8
Figura 10. Motor diésel DAF MX-11. Pinterest.	8
Figura 11. Turbo de geometría variable. DAF	9
Figura 12. Refinación del petróleo. Adaptado de Quora. freepik	10
Figura 13 . Fórmula de la densidad. Elaborado por el autor	12
Figura 14. Variables a tener en cuenta para la Viscosidad. Elaborado por el autor y adaptado de freepik	13
Figura 15. Contaminación en el combustible diésel. Fondear	15
Figura 16. Curvas de torque y potencia. Camionchileno	16
Figura 17. Calidad del aire. Adaptado de Departamento nacional de planeación (2018)	17
Figura 18. Gases de efecto invernadero. Obtenido y adaptado de El Tiempo. freepik	18
Figura 19. Motor Caterpillar Biturbo. My Little salesman.	20

Figura 20. Pasos para diagnosticar fallo en un turbo compresor. Cummins _____	21
Figura 21. Límites de Opacidad. Adaptado de la Resolución 910 de 2008. _____	22
Figura 22. Pistones con cámara de inyección en la corona e inyección directa. Mahle. _____	23
Figura 24. Componentes compresor tipo centrífugo. Adaptado de The Daily Drive. _____	25
Figura 25. Sistema de doble compresor tipo volumétrico. Elaborado por el autor. _____	26
Figura 26. Sistema de regulación de carga waste gate. Elaborado por el autor. _____	27
Figura 27. Turbo con actuador electrónico para regulación de geometría variable. Elaborado por el autor. _____	28
Figura 28. Ubicación del intercambiador de calor tipo aire-aire. Elaborado por el autor. _____	28
Figura 29. Intercambiador tipo aire - refrigerante. Elaborado por el autor. _____	29
Figura 30. Componentes de la gestión electrónica en un motor diésel. Adaptado de Bosch. _____	30
Figura 31. Sistema de combustible diésel. Elaborado por el autor. _____	31
Figura 32. Sistema de inyección HDI. Elaborado por el autor. _____	33
Figura 33. Bomba de alta presión para sistema riel común. Elaborado por el autor. _____	34
Figura 34. Riel de inyección de alta presión. Elaborado por el autor. _____	34
Figura 35. Inyector controlado electrónicamente para motor diésel. Elaborado por el autor. _____	35
Figura 36. Unidades inyectoras. Elaborado por el autor. _____	36
Figura 37. Cámara de combustión de inyección directa. Komatsu. _____	37
Figura 38. Movimiento del aire en cámara Swirl. Elaborado por el autor. _____	38
Figura 39. Movimiento del aire en la cámara de combustión Squish. Elaborado por el autor. _____	38
Figura 40. Fase de la combustión del motor diésel. Ortiz (2017) _____	39

Figura 41. Formación de la mezcla en un motor diésel de inyección directa. Research	41
Tabla 5. Gases de la combustión de motor diésel. MasterD.	50
Figura 42 . Óxidos de nitrógeno. SVI Industrial.	51
Figura 43. Estrategias para combatir la polución de los hidrocarburos. Sciencedirect	52
Figura 44. Partícula en suspensión y control. Sciencedirect.com	53
Figura 45. Emisiones de efecto invernadero discriminadas por sector. Ourworldinata	55
Figura 46. Componentes del sistema de postratamiento de gases de escape. Cummins	57
Figura 48. Partes del catalizador y conversión química. Adaptado de: cars.com	61
Figura 49. Presentación comercial de la urea de amonio. Adaptado de Amazon.	63
Figura 50. Filtro de partículas diésel dentro del proceso de limpieza. Adaptado de Researchgate.	64
Figura 51. Beneficios del filtro de partículas. Recambios de Desguace.	66

TABLAS

Tabla 1. Documentos gubernamentales. Elaborado por el autor. _____	44
Tabla 2. Documentos internacionales sobre emisiones. Elaborado por el autor. ____	45
Tabla 3. Objetivos de desarrollo sostenible.	
Organización de las Naciones Unidas (ONU). _____	46
Tabla 4. Operativos de control. Medio Ambiente (2023). _____	48
Tabla 6. Clasificación de sistemas de postratamiento de gases de escape.	
Casanova & Armas (2011)_____	60