



Características de los sistemas de inyección. Una revisión bibliográfica

Characteristics of injection systems. A bibliographic review

Características dos sistemas de injeção. Uma revisão bibliográfica

Carlos Humberto Mora-Quijano ^I

carlmora15@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2754-9787>

David Santiago Altamirano-Bustos ^{II}

altamiranomotor@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3551-7870>

Jairo Edison Guasumba-Maila ^{III}

jguasumba@istte.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0533-0397>

Christian Patricio Cabascango-Camuendo ^{IV}

ccabascango@istte.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4927-0832>

Correspondencia: carlmora15@hotmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Revisión

***Recibido:** 20 de febrero de 2022 ***Aceptado:** 18 de marzo de 2022 * **Publicado:** 01 abril de 2022

- I. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Mecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Quito, Ecuador.
- II. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Mecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Quito, Ecuador.
- III. Magister en Diseño Mecánico, Docente Investigador, Coordinador de Carrera de Mecánica Y Electromecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico, Quito, Ecuador.
- IV. MSc. Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes de Vehículos, Coordinador del Departamento de Investigación y Desarrollo I + D Quito, Ecuador.

Resumen

El propósito de este trabajo de investigación es desarrollar de manera teórica las características de los sistemas de inyección de los vehículos automotrices, tanto los sistemas de inyección a gasolina como los de diesel, así como algunos avances tecnológicos en la adaptación a otros tipos de combustibles como los biocombustibles. La importancia del sistema de inyección en la disminución del consumo de combustibles y como consecuencia la disminución de la emisión de los gases de efecto invernadero que producen los vehículos, así como el estudio del desempeño de los inyectores en la eficiencia del motor y potencia del motor. Para esta investigación es de tipo exploratoria y documental basándose en una extensa revisión bibliográfica en artículos científicos, trabajos de grados.

Palabras claves: sistemas de inyección; motores a gasolina; motores a diesel

Abstract

The purpose of this research is to theoretically develop the characteristics of automotive vehicle injection systems, both gasoline and diesel injection systems, as well as some technological advances in adaptation to other types of fuels such as biofuels. The importance of the injection system in reducing fuel consumption and, as a consequence, the reduction in the emission of greenhouse gases produced by vehicles, as well as the study of the performance of injectors in engine efficiency and engine power. For this research, it is of an exploratory and documentary type based on an extensive bibliographical review in scientific articles, degree works.

Keywords: injection system; gasoline engines; diesel engines

Resumo

O objetivo deste trabalho de pesquisa é desenvolver teoricamente as características dos sistemas de injeção de veículos automotivos, tanto a gasolina quanto a diesel, bem como alguns avanços tecnológicos na adaptação a outros tipos de combustíveis, como os biocombustíveis. A importância do sistema de injeção na redução do consumo de combustível e, conseqüentemente, na redução da emissão de gases de efeito estufa produzidos pelos veículos, bem como o estudo do desempenho dos injetores na eficiência do motor e na potência do motor. Para esta pesquisa, é do tipo exploratória e documental baseada em uma extensa revisão bibliográfica em artigos científicos, trabalhos de graduação.

Palavras-chave: sistemas de injeção; motores a gasolina; motores a diésel

Introducción

Los retos que la industria automotriz está afrontando en estos momentos son multifactoriales, es decir, provienen de diferentes áreas tanto tecnológicas asociada a la industria en sí como sociales, uno de estos retos por mencionar uno, es la necesidad y/o exigencias en la disminución del consumo de combustible en los vehículos, y la cantidad de gases contaminantes producto de la combustión. Además de maximizar la eficiencia de la conversión del combustible a energía y un alto rendimiento de la energía.

Por lo antes expuesto, el sistema de inyección comenzó a desplazar la utilización de los carburadores que fueron en su momento la norma en la mayoría de los vehículos automotores. El carburador funcionaba usando el fenómeno de succión producido por el paso de una corriente de aire rozando un orificio, la corriente de aire que roza el orificio superior del tubo de suministro provoca la succión que hace subir el líquido combustible y lo lanza pulverizando, en un chorro de aire Pilco y Rodríguez (2018) dicha mezcla entrando a la cámara de combustión provocando la impulsión del pistón logrando el par motor.

Dado que los motores con carburador no mantienen la relación aire – combustible cercana a la estequiométrica en las diferentes condiciones de trabajo. Por lo tanto, estos motores tienen altos índices de emisión y baja eficiencia. Lamentablemente, el sistema de escape también permite que se pierda un 30-40 % de combustible con los gases de escape, y en condiciones de ralentí, las pérdidas pueden llegar al 70 %. La alta tasa de emisión de CO es resultado de una combustión ineficiente e inestable que conduce a una baja eficiencia térmica y una mayor emisión de gases de efecto invernadero Singh, Lanjewar, y Rehman (2014).

A medida que se desarrollaban los sistemas de inyección de combustible, se determina la ventaja de separar los sistemas de inyección que se estaban utilizando en los motores gasolina de los sistemas de inyección diesel, ya que hasta ese momento los sistemas de inyección que usaban eran sistemas diesel adaptados para los motores gasolina, los sistemas diesel requieren inyectar a alta presión el combustible, puesto que la ignición se consigue gracias al aire, que previamente se ha comprimido, produciendo el aumento de la temperatura (Noboa, 2019).

De esta manera, en los motores gasolina el sistema de inyección directa permite que la mezcla se introduzca directamente al cilindro o muy cerca del, y se enciende con una chispa generada por

una bujía, el sistema puede funcionar aspirando aire limpio, o una mezcla de aire con combustible, lo que permite atomizar gasolina en pequeñas gotas con baja presión. Logrando combinar las mejores características del motor diésel y de gasolina. Como lo desarrolla Chincholkar y Suryawanshi (2016) y Singh et al. (2014).

Con la llegada de la electrónica a los sistemas de inyección se logró mejorar el rendimiento de los motores ya que permite ajustar la mezcla de tal manera que se obtiene un menor consumo y mayor potencia, además de disminuir considerablemente las emisiones de gases contaminantes. La electrónica permite a través de ECU (unidad electrónica de control) y diferentes sensores calcular la cantidad de combustible y aire necesarios, el momento en que se debe ingresar la mezcla al cilindro o cámara de combustión y cuando accionar la chispa, según el régimen al que está sometido el motor Esguerrar y Vargas (1997), Pilco y Rodríguez (2018), Chincholkar y Suryawanshi (2016) y Guasumba et al. (2021)

Entre las ventajas de los sistemas de inyección de combustible.

- El suministro de combustible a cada cilindro puede ser determinado con precisión de forma que reciban misma cantidad de combustible.
- El suministro de combustible se realiza por medio de una bomba sumergida en el depósito de combustible, encargándose de enviar el combustible hacia los inyectores, válvulas mecánicas o solenoides electrónicos logran mantener la presión constante en el riel donde están ubicados los inyectores, a su vez, el riel permite retornar al depósito de combustible el excedente de combustible.
- La parte electrónica, la computadora (ECU, ECM, PCM, UCE) dosifica la entrada de combustible, por lo tanto, el tiempo durante el cual deben permanecer abiertos los inyectores. Esta cantidad de combustible depende de varios factores como la temperatura del motor, velocidad del motor, carga y posición de la válvula mariposa, todos estos cambios son captados por sensores que envían la información a la computadora

Los sistemas de inyección se pueden dividir o clasificar según su número de inyectores multipuntos o monopuntos, según su ubicación respecto al cilindro, en directos o indirectos, y según su forma de inyección en secuencial, semi – secuencial o simultáneos. (Pastuel, 2021).

La inyección monopunto se caracteriza por tener un solo inyector, este se encuentra colocado en el colector de admisión o múltiple de admisión e inyecta combustible con la frecuencia requerida para alimentar a todos los cilindros aspirando la mezcla en la carrera de admisión o tiempo. La inyección

indirecta multipunto consta de varios inyectores ubicados en el propio múltiple de admisión, lo que permite que el combustible se mezcle con el aire antes de entrar al cilindro. (Pastuel, 2021)

Continuando con los otros sistemas de inyección, se tiene que la inyección directa multipunto se identifica por que utiliza un inyector para cada cilindro, posicionado directamente en la cámara de combustión. El combustible se inyecta justo después que el motor haya comprimido a alta presión el aire aspirado, Pastuel (2021), lográndose obtener mayor relación de compresión, mejor arranque en frío, menor ralentí, y menor temperatura del motor Singh et al. (2014)

Por otro lado, también se pueden identificar los sistemas de inyección mediante dos formas de inyección: 1) inyección directa de combustible líquido e 2) inyección directa de premezcla.

Inyección directa de combustible líquido: este sistema tiene la particularidad que el combustible se inyecta directamente dentro del cilindro del motor a alta presión. La presión de inyección de combustible debe ser lo suficientemente mayor que la presión del cilindro, lo cual lo ubica en un rango entre 4MPa- 15MPa que es suficiente para producir un spray bien atomizado Chincholkar y Suryawanshi (2016) y Singh et al. (2014)

Inyección directa de premezcla de combustible y aire: el sistema de inyección trabaja a baja presión, donde la mezcla se forma fuera del cilindro mediante la inyección de combustible a una presión en el rango de 0,6 Mpa y en la parte de aire a una presión de 0,55 MPa. La premezcla es suministra a la cámara de combustión por válvula mecánica con control mecánico o por solenoide con control electrónico. El poco tiempo necesario para la formación completa de la mezcla, gracias a la premezcla antes de entrar al cilindro del motor da como resultado una combustión completa y menos emisiones Singh et al. (2014)

Como se ha comentado en anteriormente, el sistema de inyección que trabajan con diesel, está constituido principalmente por 2 parte, una que trabaja a baja presión que trabaja en un rango que va desde la presión atmosférica hasta 0,3MPa, y otra que trabaja a alta presión cuyo rango de trabajo está en un rango desde los 10 MPa hasta los 200MPa (Gimeno, 2012), lo que lo diferencia de los sistemas de inyección a gasolina.

Metodología

En el marco de los objetivos planteado en esta investigación, permite catalogar el nivel de esta investigación como descriptiva, puesto que se enfocara en describir las características principales del sistema de inyección, función e importancia en los vehículos automotrices, así como se

explicara los sistemas de inyección de motores a gasolina como los motores diesel, así como algunas las investigaciones que buscan mejorar su funcionamiento, para ello la estrategia a emplear o diseño de la investigación es de tipo documental, por lo que no hubo manipulación de las variables, además sirve para comprender la tecnología alrededor del sistema de inyección. La ingeniería asociada al sistema de inyección analizada según la evidencia bibliográfica encontrada, permitirá aportar información que servirá de base a investigaciones futuras que profundicen los puntos desarrollados en esta investigación.

Así mismo, puesto que la fuente de donde se obtuvo la información, el tipo de investigación es bibliográfica, la información recolectada se sustenta en la revisión de fuentes primarias sobre estudios teóricos, simulaciones computacionales, análisis de pruebas de laboratorios y de campo, publicadas en revistas científicas, tesis de grado de pregrado y posgrado. Se consideraron los resultados más significativos para analizarlos, lo que permitió dar cuerpo a la teoría de la investigación conforme al tema en estudio.

La información mostrada en esta investigación fue tomada de diversas fuentes tanto documentales como de referencias, en repositorios y bibliotecas en línea de universidades, así como de distintos artículos científicos en revistas indexadas, sitios web especializados en la industria automotriz, lo que permite garantizar que la información presentada sea lo más fehaciente y pertinente al tema de investigación.

Criterios de selección de la información

La selección de la información se realizó con el siguiente criterio:

1. Artículos de revista arbitradas e indexada.
2. Tesis de grado, maestría o doctorado de universidades.
3. Artículos científicos donde se incluyan información acerca del sistema de inyección en motores a gasolina y diesel.

Estrategias de búsqueda de la información

Como motor de búsqueda para la investigación en línea se usó Google Scholar así como el buscador Bing usando palabras claves relacionadas con el tema a investigar, usando los criterios explicados anteriormente logrando así recabar información útil.

Resultados y discusión

Una vez terminada la búsqueda y recolección de la información, ordenada, clasificada y analizada, permite afirmar la importancia del desarrollo del sistema de inyección en la industria automotriz e indirectamente en la sociedad ya que ha permitido disminuir los gases efecto invernaderos lo que conlleva disminuir el calentamiento global. En la tabla 1, que se muestra a continua, se observa la diferencia entre los niveles de emisión de gases según el sistema de alimentación de combustible utilizado.

Tabla 1 Emisiones de gases contaminantes según el sistema de alimentación de combustible utilizado

g/Km	Carburador	Sistema de inyección monopunto	Sistema de inyección multipunto
CO	55	36	12
CO ₂	261	283	272
NO _x	2.3	1.7	1.0
HC	7.1	3.1	1.2

Fuente: (Pastuel, 2021)

Como se puede apreciar se ha logrado disminuir la cantidad de NO_x, HC (hidrocarburos) y CO liberado al ambiente gracias a la utilización de los sistemas de inyección.

En el mismo orden de idea, en investigaciones recientes se ha planteado aumentar de la presión de inyección como el objeto de disminuir aún más las emisiones de escape, como hollín, NO_x, CO, HC, en motores de gasolina de inyección directa, para lo cual se plantearon comparar con datos experimentales la pulverización para varias presiones de inyección y la presión de combustión para varias combinaciones de tiempo de inyección y presión de inyección.

Así mismo, se determinó que cuando se inyecta el combustible mientras se desarrolla el flujo de admisión, la homogeneidad de la mezcla se reduce y la velocidad de combustión disminuye. Cuando el combustible se inyecta después de que el flujo de admisión se haya desarrollado completamente y la presión de inyección sea alta, la velocidad de combustión aumentó Taehoon et al. (2018)

La alta presión de inyección fue efectiva para aumentar la homogeneidad de la mezcla en caso de tiempo de inyección tardío. Por lo tanto, es posible aumentar la eficiencia térmica sin deteriorar las

emisiones de escape cuando se utiliza una presión de inyección de hasta 50 MPa con un tiempo de inyección tardío Taehoon et al. (2018)

Por otro lado, el continuo estudio en este tipo de sistema ha llevado a investigar el rendimiento del sistema de inyección de doble punto (DPI). Donde en vez de utilizar un solo inyector por cilindro se usan 2. Para ello se modificó un motor de 4 cilindros el cual se adaptó para acomodar un total de 8 inyectores. Se registraron datos con carga parcial en estado estacionario e inicio en frío Lee et al. (2018)

El experimento del motor de estado estacionario en las diversas condiciones críticas de carga parcial mostró que el sistema DPI en combinación con la estrategia de inyección de válvula abierta logró la mayor reducción del consumo de combustible en un 4,6%. El experimento de inicio en frío también mostró una ganancia de economía de combustible por parte del sistema DPI, Lee et al. (2018)

En este sentido, para Pin-Chia et al. (2013), sabiendo que las características de pulverización y atomización del combustible juegan un papel importante en el rendimiento de los motores de combustión interna. Por otro lado, la búsqueda y desarrollo de combustibles alternativos que sean económicamente viables y sostenibles para reemplazar el combustible de petróleo. Han enfocado esfuerzo en investigar las características de pulverización y atomización para el combustible diesel comercial No. 2, biodiesel (FAME) derivado del aceite de cocina residual (B100), combustible diesel mezclado con biodiesel al 20% (B20), combustible diesel renovable producido internamente y combustible para aviones civiles (Jet-A).

En el mismo trabajo de investigación de lograron medir los diámetros de las gotas y las distribuciones del tamaño de las partículas. Los datos experimentales se recabaron a partir del empleo de un sistema de inyección de combustible de alta presión conocido como common-rail (riel común) con una boquilla de un solo orificio a temperatura ambiente y presión. Los resultados experimentales mostraron que el biodiesel y el combustible para aviones tenían características diferentes en comparación con el diesel.

Además, se observó que el B20 presentaba características similares al diesel, pero con tamaños de gota ligeramente más grande. Como resultado, concluyen que optimizar la compensación entre el volumen de pulverización y el tamaño de la gota para diferentes combustibles sigue siendo un gran desafío. Sin embargo, la inyección de alta presión ayuda a optimizar la compensación del volumen

de pulverización y los tamaños de gotas. La variación de los diámetros de las gotas se hizo más pequeña con el aumento de la presión de inyección.

En el mismo orden de idea, investigaciones centradas en motores a diesel, se han desarrollado investigaciones donde se han experimentado con presiones de inyección de combustible que oscilaban entre 20 y 150 Mpa y presiones de cámara de 0,1 y 0,6 MPa. Además, se consideraron tres configuraciones diferentes de boquilla, las cuales fueron convergente, divergente y cilíndrica, en 2 arreglos diferentes 6 o 10 orificios como se muestra en la tabla 2. Para determinar cómo afecta la geometría de los orificios a la formación de la pulverización. Los hallazgos que se lograron obtener en la investigación fueron que el aumento de la presión de inyección de combustible promueve la ruptura del rociado y crea gotas más pequeñas, lo que mejora la formación de la mezcla y acelera la evaporación. El tipo de boquilla y la presión ambiental afectan significativamente aspectos del comportamiento del rociado, como el desarrollo de la punta de rociado. Como se puede ver en la Figura 1 Tamaguchi et al. (2019).

Tabla 2 Especificaciones de los inyectores usados en el estudio

	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
<i>Forma de la boquilla</i>	Divergente	Convergente	Divergente	Cilíndrico
<i>Ángulo</i>	15°	2°	15°	0°
<i>Numero de orificios</i>	6	6	10	10

Fuente: Tamaguchi et al. (2019)

Además, los resultados de estos experimentos mostrados en la Tabla 2 se pueden utilizar como datos de entradas para simulaciones y estudios sobre el comportamiento de la combustión, la formación de emisiones y el diseño del sistema de combustión.

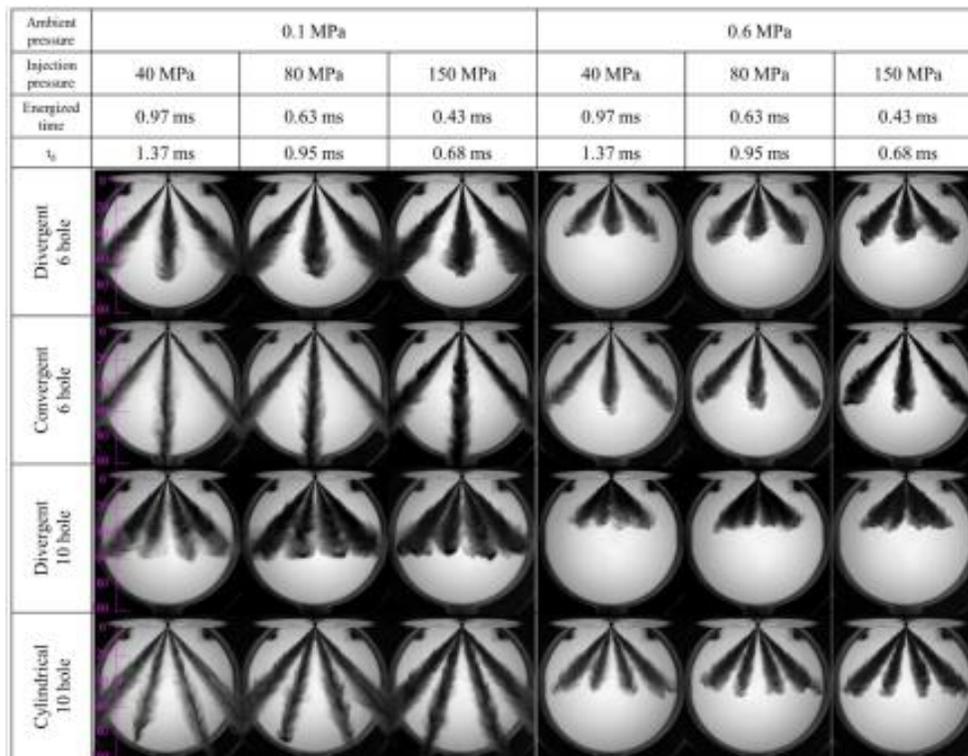


Figura 1. Imágenes de la pulverización del combustible al final de la inyección

Fuente: Tamaguchi et al. (2019)

En la figura se puede ver que tanto la presión como el arreglo utilizado en los inyectores modifican la manera como se pulveriza el combustible influyendo en la combustión.

En resumen, después de los análisis de las diferentes fuentes consultadas se puede afirmar que el desarrollo del sistema de inyección electrónica de combustible ha permitido disminuir el nivel de contaminación y mejorar el rendimiento del motor en términos de parámetros como el consumo de combustible.

Se puede lograr mediante una óptima sincronización de la inyección reduce en gran medida el consumo específico de combustible y las emisiones de escape debido a un mejor control sobre la relación aire-combustible.

El sistema de inyección tiene potencial para satisfacer las futuras normas de emisión, pero necesita una investigación sistemática para adoptar con mayor presión de inyección del combustible y desarrollo en el proceso de combustión.

Referencias

1. Chincholkar, S., & Suryawanshi, J. (2016). Gasoline Direct Injection: An Efficient Technology. *Energy Procedia* , 90, 666 - 672.
2. Esguerrar, P., & Vargas, H. (1997). *Manuel del sistema de inyección del motor D16A9 de la Honda*. Santiago de Cali: Universidad Autonoma de Occidente.
3. Gimeno, J. (2012). *Estudio de la Inyección Diésel Mediante la Medida del Flujo de Cantidad de Movimiento de Chorro*. Barcelona: Reverte.
4. Guasumba, J., Oramas, D., Galeano, H., & Vergara, H. (2021). El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado. *Dominio de la Ciencia* , 7 (4), 1869 - 1887.
5. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGraw Hill.
6. Lee, Y., Oh, S., Kim, C., Lee, J., Lee, K., & Kim, J. (2018). The dual-port fuel injection system for fuel economy improvement in an automotive spark-ignition gasoline engine. *Applied Thermal Engineering* , 138, 300 - 306.
7. Noboa, A. (2019). *Investigación del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores Bosch "0445120289" y "0445110250" del sistema Common Rail*. Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz. Guayaquil: Universidad Internacional del Ecuador.
8. Pastuel, E. (2021). *Conversión de un motor Chevrolet ZE-1 de carburador a inyección electrónica para mitigación de emisiones*. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
9. Pilco, A., & Rodríguez, H. (2018). *Análisis de un modelo de predicción del consumo instantáneo de combustible basado en señales de los sensores del sistema de inyección para el automóvil Chevrolet Aveo Family 1.5L*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
10. Pin-Chia, C., Wang, W.-C., William L., R., & Fang, T. (2013). Spray and atomization of diesel fuel and its alternatives from a single-hole injector using a common rail fuel injection system. *Fuel* , 103, 850 - 861.
11. Singh, A., Lanjewar, A., & Rehman, A. (2014). Direct Fuel Injection System in Gasoline Engine - A Review. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* , 4 (4), 21 - 28.

12. Taehoon, K., Jingeun, S., Junkyu, P., & Sungwook, P. (2018). Numerical and experimental study on effects of fuel injection timings on combustion and emission characteristics of a direct-injection spark-ignition gasoline engine with a 50 MPa fuel injection system. *Applied Thermal Engineering* , 144, 890 - 900.
13. Tamaguchi, A., Koopmans, L., Helmantel, A., Karrholm, F., & Dahlander, P. (2019). Spray Characterization of Gasoline Direct Injection Sprays Under Fuel Injection Pressures up to 150 MPa with Different Nozzle Geometries. *SAE Technical Paper* .