

Tema A4 Termofluidos: (Inyección diésel)

“Caracterización del proceso de mezcla a través de la visualización del chorro diésel líquido”

Sergio Borrego^{a,*}, Oscar A. de la Garza^a, Miguel García-Yera^a, G. Rubio-Gómez^a, S. Martínez-Martínez^a

^aUniversidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME), Laboratory for Research and Innovation in Energy Technology (LIITE), Av. Universidad s/n. Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C.P. 66455, México.

*Autor contacto: sergio.borregoly@uanl.edu.mx

RESUMEN

En un motor diésel, la eficiencia del proceso de combustión depende entre otros aspectos del proceso de mezcla, en donde éste se suele caracterizar a través de los parámetros macroscópicos del chorro diésel: penetración, área y ángulo del chorro. Éstos están influenciados principalmente por la presión de inyección y la presión en el interior de la cámara de combustión. El objetivo del presente estudio se centrará en profundizar en el conocimiento sobre los efectos de la presión de inyección y de la presión en el interior de la cámara en el proceso de mezcla, para ello se empleará una maqueta de visualización a volumen constante, así como la técnica óptica: Iluminación directa por dispersión Mie. Al caracterizar el proceso de mezcla a través de los parámetros macroscópicos del chorro diésel, se ha confirmado el efecto de la presión de inyección y de la presión en el interior de la cámara de combustión sobre el proceso de mezcla.

Palabras Clave: Chorro diésel, Penetración del chorro, Área del chorro, Angulo del chorro.

ABSTRACT

In a diesel engine, the efficiency of the combustion process depends on among other aspects of the mixing process, where it is usually characterized by the macroscopic parameters of the diesel spray: spray tip penetration, spray area and spray cone angle. These are influenced mainly by the injection pressure and the pressure inside at the combustion chamber. The objective of the present study will be to deepen the knowledge on the effects of the injection pressure and the pressure inside at the combustion chamber on the mixing process, for this will be used a constant volume chamber, as well as optical technique: Direct illumination by Mie scattering. Characterizing the mixing process through the macroscopic parameters, the effect of injection pressure and pressure inside at the combustion chamber on the mixing process has been confirmed.

Keywords: Spray diesel, Spray tip penetration, Spray area, Spray cone angle.

1. Introducción

La creciente conciencia social del uso eficiente de los combustibles fósiles, la búsqueda de combustibles alternativos y las exigentes normas ambientales tanto americanas como europeas, han llevado a los fabricantes de automóviles a que sus productos cumplan con requisitos cada vez más estrictos sobre la reducción de emisiones contaminantes, para poder cumplir con esto, no solo se ha desarrollado nueva tecnología, sino que también se ha puesto un gran interés por estudiar el proceso de combustión dentro del motor. En los motores diésel de inyección directa,

los estudios se han enfocado en estudiar y comprender los fenómenos fisicoquímicos que ocurren durante el proceso de inyección y combustión del combustible. Donde la calidad de la atomización y las características de la pulverización afectan fuertemente el proceso de inyección [1,2,3]. Actualmente existen una gran cantidad de estudios en donde se comparan un combustible diésel fósil con un biodiesel, esto con el objetivo de determinar sus parámetros macroscópicos de pulverización, observando que la punta de penetración del chorro, el área del chorro y el ángulo de cono, son parámetros que caracterizan el proceso de mezcla [4,5]. Y que estos dependen de diferentes factores como lo son: la geometría de la tobera del inyector, propiedades del

combustible, presión de inyección, la presión en el interior de la cámara de combustión y la duración de apertura del inyector [6-10]. Como lo reportado por Xiangang et al.[4] quienes mostraron que el biodiesel derivado de palma y aceite usado de cocina tiene una penetración de chorro más larga que las del combustible diésel, debido a la mayor densidad y viscosidad del biodiesel. Y Delacourt et al. [11] quienes estudiaron el efecto de la presión de inyección sobre las características de pulverización macroscópicas y desarrollaron una técnica de medición para extraer estas características de forma rápida y confiable. Dada la importancia del estudio de los parámetros macroscópicos de pulverización del chorro este se ha estudiado principalmente mediante el uso de dos técnicas, la primera de ella es la simulación la cual mediante el uso de modelos de cálculo de Mecánica de Fluidos Computacionales (CFD), y el uso de métodos numéricos y diferentes algoritmos permite, predecir, analizar y estimar los parámetros macroscópicos de pulverización [12]. La segunda de ellas es el método experimental el cual consiste en emplear una cámara de visualización a volumen constante [13], en conjunto con técnicas de visualización y adquisición de imágenes [11,14], se obtiene información sobre los fenómenos físicos a los que es sometido el chorro líquido de combustible.

El presente trabajo retoma lo realizado por Yera et. al. [13], en el cual se desarrolló una maqueta de visualización a volumen constante, la cual ha sido sometida a un proceso de rediseño, con el objetivo de emplear valores de presión de inyección y de presión en el interior de la cámara, representativos de los motores diésel. En el presente estudio se empleará la actualización de la maqueta de visualización a volumen constante para profundizar en el conocimiento sobre los efectos de la presión de inyección y de la presión en el interior de la cámara en el proceso de mezcla.

2. Herramientas experimentales

2.1 Inyector diésel

El inyector utilizado para la realización del presente estudio, fue un inyector diésel de la firma BOSCH, con número de serie 0 445 120 002, el cual cuenta con 5 orificios y se utiliza normalmente en los automóviles de la marca Citroën, Fiat, Iveco, Peugeot, Renault.

2.2 Maqueta de visualización

La instalación experimental está compuesta por una cámara de visualización a volumen constante [13], la cual se ha sometido a un proceso de rediseño, con el fin de aumentar la presión en el interior de ésta (hasta 180 bar), los accesos ópticos fueron reducidos a 80 mm de diámetro y fabricados de zafiro de 15 mm de espesor (Fig. 1).

Un sistema de inyección, al igual que la cámara de visualización a volumen constante fue modificado logrando obtener presiones de inyección de hasta 1300 bar, integrado por una línea de baja presión, depósito de combustible, purgador de aire, filtros de combustible, bomba de baja

presión, la cual circula el combustible por el sistema de inyección, y una línea de alta presión, variador de frecuencia, motor eléctrico, bomba de alta presión, intercambiador de calor y common-rail, para la alimentación eléctrica del inyector se utiliza un common rail system tester, permitiendo el control de la presión de inyección, pulso eléctrico y la frecuencia de inyección.

La sincronización de la adquisición de imágenes se lleva a cabo mediante la detección de forma automática del pulso de corriente que le llega a la bobina del inyector, que es medida mediante una pinza amperimétrica modelo i310s de la marca Fluke. La señal generada por la pinza es analizada por un sistema de adquisición de datos y control cRio modelo 9074, que detecta automáticamente el flanco de subida y envía los pulsos de sincronización a la cámara de alta velocidad.



Figura 1 – Imagen de la Maqueta de visualización a volumen constante.

2.3 Técnica óptica: iluminación directa por dispersión Mie

Para lograr determinar los parámetros macroscópicos del chorro diésel, se utilizó la técnica óptica iluminación directa por dispersión Mie. La cual consiste en adquirir imágenes del chorro líquido con una cámara de alta velocidad, bajo iluminación directa (Fig. 2) [11]. En las siguientes líneas se dan más detalles relacionados con la cámara de alta velocidad y el sistema de iluminación, la cámara de alta velocidad corresponde a una cámara modelo Motion PRO X4, con una capacidad de adquisición de 5130 imágenes / segundo, sensor CMOS y un rango dinámico máximo de 8 bit, y para la iluminación se utilizó lámparas halógena de 100 W y 12V, colocadas a 6 cm de distancia del acceso óptico de zafiro.

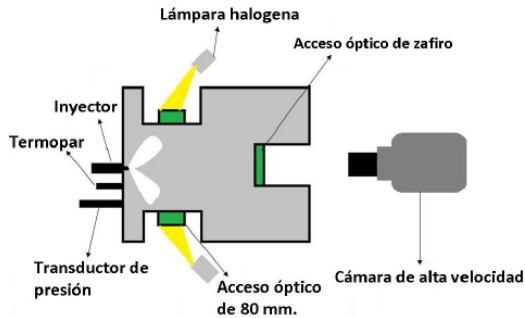


Figura 2 – Técnica óptica: Iluminación directa por dispersión Mie. Adaptada de Torres-Garza [17].

3. Metodología experimental y de análisis

3.1 Combustible

Todos los experimentos fueron realizados con un diésel standard, con una densidad (de acuerdo con la EN ISO 12185/96 standards a 15 °C) de 830 kg/m³ y una viscosidad cinemática (de acuerdo con EN ISO 3104/99 standards a 40 °C) de 2.820 x 10⁻⁶ m²/s.

3.2 Procesamiento de imágenes

Las imágenes adquiridas durante la prueba (Fig. 3), son almacenadas en la estación de adquisición de video y analizadas mediante un código propio, desarrollado en el software MATLAB, éste concretamente detecta el contorno del chorro diésel, el cual se ha dibujado de color azul en la figura. A partir de éste se determinan los parámetros macroscópicos del chorro líquido.

3.3 Plan de ensayos

Debido a la importancia de los parámetros macroscópicos de pulverización y su influencia en el proceso de mezcla aire combustible, se desarrolló un plan de ensayos presentado en la Tabla 1 y 2, en el cual se varía la presión de inyección y la presión en el interior de la cámara a volumen constante, esto con el fin de analizar cómo éstos afectan la penetración, área y ángulo del chorro líquido de combustible.

Tabla 1 – Matriz de ensayos con presión de inyección constante y variación de presión al interior de la cámara.

Parámetros de inyección	Cantidad	Unidad
Wp (Pulso eléctrico)	2	ms
Presión de inyección	130	MPa
Presión interior de cámara	2, 3 y 4	MPa

Tabla 2 – Matriz de ensayos a presión constante al interior de la cámara y variación de presiones de inyección.

Parámetros de inyección	Cantidad	Unidad
Wp (Pulso eléctrico)	2	Ms
Presión de inyección	50, 100 y 130	MPa
Presión interior de cámara	4	MPa

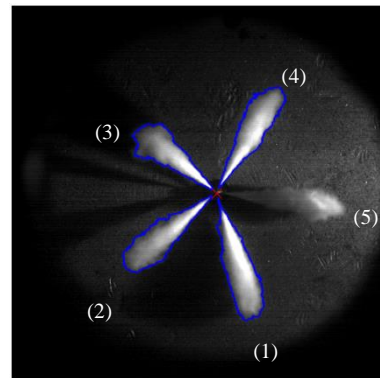


Figura 3 – Muestra parte del procesamiento de imagen, donde el código identifica los contornos de cada chorro con una presión de inyección de 50 MPa y 4 MPa de presión en el interior de la cámara.

4. Resultados y discusión

4.1 Efecto de la presión de inyección sobre el proceso de mezcla

En la Fig. 4 se muestra la evolución temporal de la penetración del chorro diésel para 3 niveles de presión de inyección (50 MPa, 100 MPa y 130 MPa) observándose que a mayores presiones de inyección se reduce el tiempo en que la penetración llegará a una zona de estabilidad [4,5,11].

Mientras que en la Fig. 5 Se representa la evolución temporal del ángulo del chorro, a partir de esta figura se puede observar que la presión de inyección afecta al ángulo del chorro desde el comienzo del evento de inyección, asimismo cuando ya se ha estabilizado el ángulo del chorro, se observa que a mayor presión de inyección se tiene un mayor ángulo del chorro [4,5,11]. En la Fig. 6 se muestra la evolución temporal del área del chorro, a partir de esta figura se puede observar que a mayor presión de inyección, mayor será la masa inyectada de combustible, reflejándose esto en un incremento del área del chorro [15].

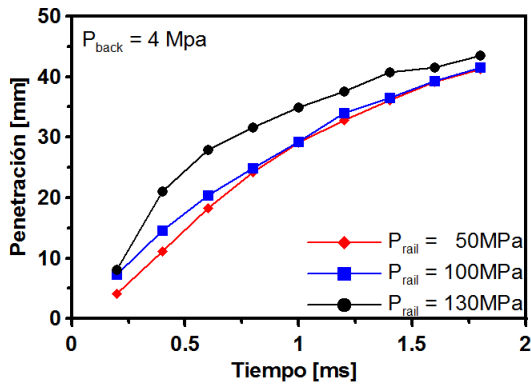


Figura 4 –Evolución temporal de la penetración de chorro diésel para una presión en el interior de la cámara de 4 MPa y niveles de presión de inyección de 50 MPa, 100 MPa y 130 MPa.

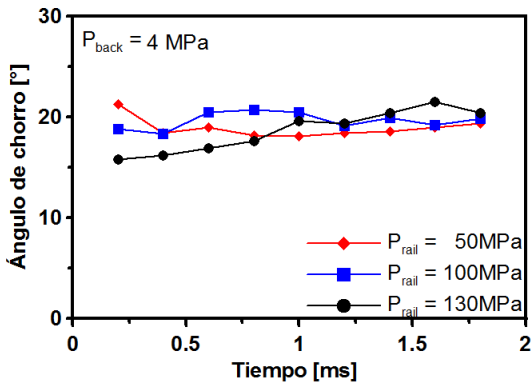


Figura 5 – Evolución temporal del ángulo de chorro diésel para una presión en interior de la cámara de 4 MPa y para los niveles de presión de inyección de 50 MPa, 100 MPa y 130 MPa.

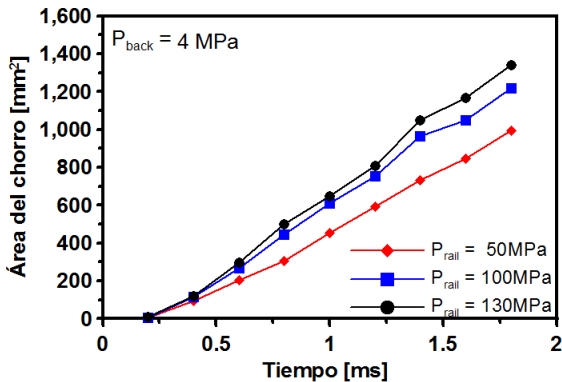


Figura 6– Evolución temporal del área de chorro diésel para una presión en el interior de la cámara de 4MPa y para los niveles de presión de inyección de 50 MPa, 100 MPa y 130 MPa.

4.2 Efecto de la presión en el interior de la cámara sobre el proceso de mezcla

En la Fig. 7 se ilustra la evolución temporal de la penetración del chorro diésel, a partir de esta figura se observa que a mayores niveles de presión en el interior de la cámara se tiene un decremento en la penetración del chorro, este resultado es consistente con la bibliografía [4]. Mientras que en la Fig. 8 se muestra la evolución temporal del ángulo del chorro, a partir de esta figura se aprecia que a mayores niveles de presión en el interior de la cámara el ángulo del chorro es mayor, lo cual tiene un efecto positivo en el proceso de mezcla, este resultado igualmente es consistente con la bibliografía [16]. Similarmente se confirma lo observado por Chao et al. [4], es decir que a 0.8 ms después del inicio de la inyección, sin importar la presión en el interior de la cámara se tiene una estabilidad en el ángulo del chorro. En la Fig. 9 se ilustra la evolución temporal del área del chorro, a partir de ésta, se observa que a mayores niveles de presión en el interior de la cámara se tiene una reducción en el área del chorro, este resultado es consistente con la bibliografía [16].

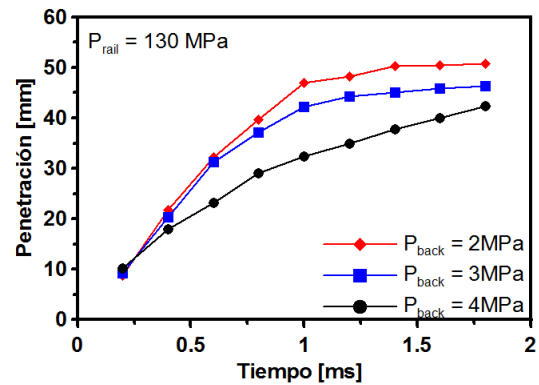


Figura 7 – Evolución temporal de la penetración de chorro diésel para una presión de inyección de 130 MPa y los niveles de presión en interior de cámara de 2 MPa, 3 MPa y 4 MPa.

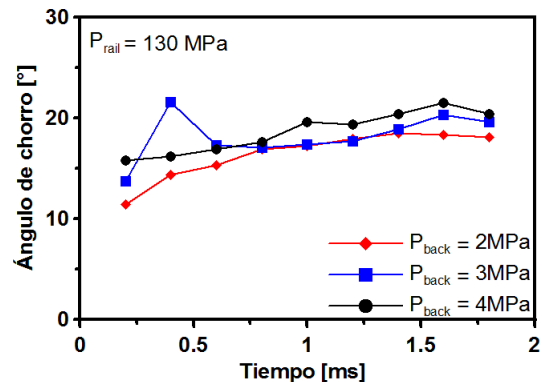


Figura 8 – Evolución temporal del ángulo de chorro diésel para una presión de inyección de 130 MPa y los niveles de presión en interior de cámara de 2 MPa, 3 MPa y 4 MPa.

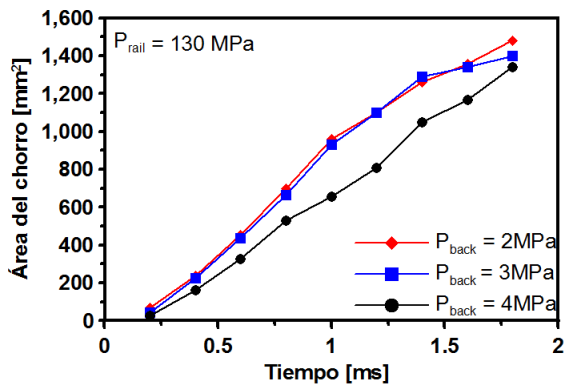


Figura 9– Evolución temporal del área de chorro diésel para una presión de inyección de 130 MPa y los niveles de presión en interior de cámara de 2 MPa, 3 MPa y 4 MPa.

5. Conclusiones

En el presente estudio se ha profundizado en el conocimiento del efecto de la presión de inyección y de la presión en el interior de la cámara de combustión sobre el proceso de mezcla, el cual fue caracterizado a través de los parámetros macroscópicos del chorro diésel. En las siguientes líneas se sintetizarán las principales conclusiones alcanzadas en el presente estudio.

La penetración del chorro diésel, se reduce al llegar a su punto de estabilidad conforme aumenta la presión de inyección, una elevada presión de inyección igualmente se traduce en un aumento en la masa de combustible inyectada, reflejándose en un incremento del área del chorro, y un mayor ángulo del chorro.

La penetración del chorro disminuye al aumentar la presión en el interior de la cámara de combustión, similarmente a mayores presiones en el interior de la cámara se refleja en una reducción del área de chorro, un incremento en el ángulo del chorro, lo cual mejora el proceso de mezcla.

Los resultados previamente descritos, son consistentes con la bibliografía, por consiguiente con la actualización de la maqueta de visualización a volumen constante se pueden efectuar análisis robustos en condiciones cercanas a las de un motor diésel.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) del Gobierno de México por apoyar los estudios de Maestría en Ciencias de Sergio Borrego Álvarez (Número de beca: 612617) y por apoyar esta investigación (proyecto: CB-239943). Gracias también a la Real Academia de Ingeniería del Reino Unido (proyecto: NRCP/1415/238), UANL-PAICYT (proyecto:

IT647-11), y al programa PRODEP de la Secretaría de Educación a través de la red de investigación e innovación en Tecnología Energética por apoyar esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] S.H. Park, J. Kim, H. K. Suh and C. S. Lee, Atomization and spray characteristics of bioethanol and bioethanol blended gasoline fuel injected through a direct injection gasoline, *International Journal of Heat and Fluid flow*, 30(5) (2009) 960-970.
- [2] Delacourt, B. Desmet and B. Besson, Characterization of very high pressure diesel spray using digital imaging techniques, *Fuel*, 84 (2005) 859-867.
- [3] Badreldin, A.M., Automatic analysis of fuel spray images, *Comput. Ind.*, (1987), 9, 107-113.
- [4] Xiangang Wang, Zuohua Huang, Olawole Kuti Zhang, Keiya Nishida, Experimental and analytical study on biodiesel and diesel spray characteristics under ultra-high injection pressure, *Journal of Heat and Fluid flow*, 31 (2010) 659-666.
- [5] Chao He, Yunshan Ge, Jianwei Tang, Xiukun Han, Spray properties of alternative fuel: A comparative analysis of biodiesel and diesel, *Journal of Heat and Fluid flow*, 32 (2008) 1329-1338.
- [6] H. Hatori, K. Narumiya, M. Tsue, and T. Kadota, Photographical Analysis of Initial Breakup Process of Diesel Spray, *2002 Conference on Thermo-and fluids dynamic processes in diesel engines*, pp. 33-43, Valencia, Spain, September 2002. CMT – Motores térmicos. Universidad Politécnica de Valencia.
- [7] Som S., D. E. Ramirea, A. I. Aggarwal, A comparison of injector flow and spray characteristics of biodiesel with petrodiesel, *Fuel*, (2010), 89, 4014-4024.
- [8] M. Battistoni, Carlo N. Grimaldini., Numerical analysis of injector flow and spray characteristics from diesel injector using fossil and biodiesel fuels, *Appl. Energy*, (2012), 97, 656-666.
- [9] Yoon S.H, Park S.H., Lee C.S., Experimental investigation on the fuel properties of biodiesel and its blends at various temperatures, *Energy Fuels*, (2008), 22, 652-656.
- [10] Yuan W., Hasen A.C., Zhang Q., Predicting the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels, *Fuel*, (2008), 88, 1120-1126.
- [11] Delacourt, B. Desmet and B. Besson, Characterization of very high pressure diesel spray using digital imaging techniques, *Fuel*, 84 (2005) 859-867.
- [12] Oscar A de la Garza, Adolfo Benítez, Fausto A. Sánchez, S. Martínez-Martínez, Determination and Introduction of Transport Properties of Soybean oil Biodiesel in the CFD Code Open Foam, *Thermal Science*, <https://doi.org/10.2298/TSCI170317157G>.
- [13] Miguel García Yera, Simón Martínez Martínez, Fausto A. Sánchez Cruz, José Manuel Riesco Ávila y Armando Gallegos Muñoz, Desarrollo De Una Instalación Experimental Para El Estudio De Chorros Diésel Isoterms, Memorias Del XIII Congreso Internacional Anual De Ingeniería Mecánica (SOMIM), Memorias Del Congreso , ISBN 978-968-9773-03-8.
- [14] J. Shao, Y. Yan, G. Greeves and Smith, Quantitative characterization of diesel spray using digital imaging

- thechnique, *Measurement Science Technology*, 14 (2003) 1110-6.
- [15] Avinash Kumar Agarwal, Jai Gopal Gupta, Atul Dhar, Woong Il Kim, Chang Sik Lee, Sungwwook Park, Effect of fuel injection pressure and injection timing on spray characteristics and particulate size-number distribution in a biodiesel fuelled common rail direct injection diesel engine, *Applied Energy*, 130 (2014) 212-221.
- [16] Hongzhan Xie, Lanbo Song, Yizhi Xie, Dong Pi, Chunyu Shao, Qizhao Lin, An experimental study on the macroscopic spray characteristics of biodiesel and diesel in a constant volume chamber, *Energies*, (2015),8, 5952-5972.
- [17] Omar Torres Garza, Efectos de los parámetros de inyección sobre el proceso de mezcla en un motor diésel, Tesis de Maestría 2016, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey México.