

Simulación CFD sobre la influencia de la presión y velocidad, en el diámetro medio másico de gota en inyectores tipo Y

CFD simulation on the influence of pressure and velocity, on the mean mass diameter of the drop on the Y type injectors

Samir Rojas*; Diego Mariños; Miguel Huaraz; Roberto Chucuya

Escuela de Ingeniería en Energía (Universidad Nacional del Santa) Av. Pacífico 508 - Nuevo Chimbote. Ancash, Perú.

*Autor correspondiente: samir.rojaschavez@hotmail.com (S. Rojas).

RESUMEN

La inyección de hidrocarburos es una etapa importante en la combustión, donde está involucrado el proceso de atomización, el cual consiste en desintegrar en pequeñas gotas, el combustible, por un inyector para así agregar mayor área de transferencia. El tamaño de gotas generadas por el inyector debe de ser menores a 80 μm para que pueda asegurarse así una buena combustión y evitar los contaminantes como el CO y NOx. En esta investigación se trabajó con etanol, un hidrocarburo de poca emisión, el cual cuenta con viscosidad elevada que dificulta la tarea de llegar a un correcto diámetro de gotas. Este tipo de estudio precisa de ser teórico y experimental, siendo la simulación una gran herramienta para sustituir el segundo. Se hizo uso del método de elementos finitos incluido en el paquete Flow Simulation del Software Solidworks, donde fue esbozado un inyector tipo Y para ser evaluado. La simulación dinámica ayudó a poder medir el campo de velocidades, en la salida de la boquilla de aire, cavidad que cuenta con un diámetro de 0,2 mm, el cual ayuda a elevar la energía cinética del fluido, logrando obtener los mayores valores del número de mach en esta área. Los resultados evaluados con la ecuación Wigg, dan una relación inversamente proporcional de la velocidad al diámetro de gotas.

Palabras clave: Wigg; Inyector tipo Y; simulación; velocidad.

ABSTRACT

The hydrocarbon injection is an important stage in the combustion, where the atomization process is involved, which consists in disintegrating in small drops, the fuel, by an injector to add a larger transfer area. The droplet size generated by the injector should be less than 80 μm so that a good combustion can be ensured and avoid contaminants such as CO and NOx. In this research worked with ethanol, a low emission hydrocarbon, which has high viscosity that makes it difficult to reach a correct droplet diameter. This type of study needs to be theoretical and experimental, with simulation being a great tool to replace the second. We used the finite element method included in the Flow Simulation package of Solidworks Software, where a Y type injector sketched for evaluation. The dynamic simulation helped to measure the velocity field, at the exit of the air nozzle, a cavity that has a diameter of 0.2 mm, which helps to raise the kinetic energy of the fluid, obtaining the highest values of Mach number in this area. The results evaluated with the Wigg equation give an inverse proportional relation of the velocity to the droplet diameter.

Keywords: Wigg; Type Y injector; simulation; speed.

INTRODUCCIÓN

Desde el siglo XIX, la humanidad hizo uso del petróleo como combustible. Sin embargo, este recurso se está volviendo escaso en nuestro planeta. Bajo la nueva visión de sostenibilidad la cual exige que cualquier proceso esté en armonía con el medio ambiente, la sociedad y la economía; Necesitamos nuevas alternativas que atiendan estos tres parámetros. Actualmente hablamos de combustibles alternativos, los cuales ofrecen una alternativa muy interesante al diésel mineral en relación a las emisiones nocivas, desgaste, costo y disponibilidad.

Los inyectores son responsables de la atomización del combustible para un proceso de combustión, por ejemplo, en un motor o en un horno. La atomización es un proceso caracterizado por la transformación de una masa de líquido en un spray o en otra dispersión física de pequeñas gotas en una atmósfera gaseosa, esto es realizado por la energía cinética que transporta el fluido (Lefebvre, 1989).

El estudio de los inyectores para combustibles alternativos como biodiesel, etanol, aceite pirolítico, etc; Es una línea de investigación muy importante en estos últimos años, ya que su progreso proporciona alternativas a los procesos industriales. Los inyectores tipo Y son muy utilizados en la generación de vapor, generación de energía eléctrica y hornos en donde cumplen la función de atomizar en pequeñas gotas el combustible líquido que se desea ingresar a la cámara de combustión. La mayoría de combustibles, actualmente utilizados, tales como Diesel, Fuel Oil, Jet Fuel, petróleo, etc, son alternativas que han causado mucho daño a nuestra a nuestro planeta. En vista de que la población es dependiente de la energía, nuevas soluciones han surgido, hidrocarburos como el metanol, hidrogeno, propanol y biodiesel son la alternativa para poder seguir generando la energía necesaria, pero sin contaminar. Para estas nuevas alternativas se necesitan cambios tecnológicos en los accesorios que forman parte de la combustión, en este trabajo no enfocamos en la atomización en el inyector, para lo cual será necesario un estudio de los principales parámetros que influyen

en este proceso. Uno de estos combustibles renovables es el Etanol el cual puede producirse a partir de un gran número de plantas, con una variación, según el producto agrícola, del rendimiento entre el combustible consumido y el generado en dicho proceso. Este etanol, conocido como bioetanol.

El bioetanol tiene las mismas características y composición química que el etanol ya que se trata del mismo compuesto. La diferencia radica en su proceso de producción. El bioetanol ha de ser obtenido desde biomasa, no pudiendo obtenerse del petróleo.

Estos estudios necesitan un análisis teórico y experimental de las diferentes variables involucradas en el proceso de atomización. Algunos trabajos experimentales publicados en periódicos internacionales son los trabajos de Kegl y Hribernik (2006), Khalid *et al.* (2014) y Song y Lee (2008). Los trabajos arriba citados comparan resultados numéricos con datos experimentales de los sistemas de inyección. Los fundamentos de la mecánica de los fluidos pueden ser aplicados para descubrir cuánto de energía es necesario para alcanzar las velocidades requeridas y presión adecuada para conseguir una atomizada adecuada. El flujo en un inyector fue analizado por Volmajer y Kegl (2001), en el que se utilizó un modelo de ordenador y el software CFD program FIRE, a fin de encontrar la tasa de flujo, los resultados numéricos se compararon con los datos experimentales obtenidos en un inyector Bosh DLLA 147 S.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio muestra un análisis gráfico gracias a ayuda de la Dinámica de fluidos computacional (CFD) la cual es una de las ramas de la mecánica de fluidos que utiliza métodos numéricos y algoritmos para resolver y analizar problemas sobre el flujo de fluidos. Este trabajo precisa de un ordenador el cual será utilizado para realizar millones de cálculos requeridos para simular la interacción del etanol y el aire dentro de las cavidades del inyector. Cabe recalcar que aun con ecuaciones simplificadas y con un adecuado ordenador de alto rendimiento, solo se pueden alcanzar resultados aproximados para la mayoría de las iteraciones.

El método consiste en discretizar una región del espacio creando lo que se conoce por una malla espacial, dividiendo una región del espacio en pequeños volúmenes de control. Después se resuelve en cada uno de ellos las ecuaciones de conservación discretizadas, de forma que en realidad se resuelve una matriz algebraica en cada celda de forma iterativa hasta que el residuo es suficientemente pequeño.

Para el estudio computacional se hicieron uso de las siguientes fórmulas de mecánica de fluidos:

Continuidad:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

Momentum:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial P}{\partial x_i} \quad (2)$$

Energía:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i t) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial t}{\partial x_i} \frac{k}{c_p} \right) \quad (3)$$

Energía cinética turbulenta:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) + \frac{\partial \rho k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{u_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + S_k \quad (4)$$

Energía por disipación turbulenta: Donde los términos S_ε y S_k se define como:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \varepsilon) + \frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{u_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + S_\varepsilon \quad (5)$$

Aquí P_B representa la generación turbulenta debido a las fuerzas de flotación y se puede escribir como:

$$P_B = - \frac{g_i}{\sigma_B \rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad (6)$$

Donde "gi" es la componente de aceleración gravitacional en la dirección x_i , la constante $\sigma_B=0.9$, y la constante C_B es definida como: $C_B=1$ cuando $P_B>0$, o de lo contrario 0;

$$f_1 = 1 + \left(\frac{0.05}{f_\mu} \right)^3 \quad (7)$$

$$f_2 = 1 - \exp(-R_T^2) \quad (8)$$

Las constantes C_μ , $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, C_ε , C_k están definidas empíricamente. En la aplicación Flow Simulation los típicos valores usados son los siguientes:

$$C_\mu = 0.09, C_\varepsilon = 1.3, C_{\varepsilon 2} = 1.92, C_{\varepsilon 1}$$

$$C_{\varepsilon 1} = 1.44, C_k = 0$$

En la evaluación del diámetro medio másico precisa de una fórmula ya desarrollada por Wigg (1959), quien analizó el mecanismo de la atomización con los chorros de aire realizando la importancia de la energía cinética del aire de atomización e indicó que la diferencia de energía entre chorro de aire en la entrante y el spray emergente es un factor dominante que afecta el diámetro medio de las gotas. En 1964, utilizando datos experimentales de otros investigadores sobre atomización de líquidos viscosos y aire en inyectores tipo Y, Wigg logró derivar una expresión adimensional que permite evaluar el diámetro mediano de masa de las gotas del spray (MMD), obteniendo:

$$D_{MMD} = \frac{200V^{0.5} m_F^{0.1} \left(1 + \frac{m_F}{m_A} \right)^{0.5} h^{0.1} \sigma^{0.2}}{\rho_{AT}^{0.3} \Delta U} \quad (9)$$

D_{MMD} : Diámetro medio de masa de las gotas de spray (μm)

ν : Viscosidad cinemática del etanol (cSt)

m_F : Flujo másico del etanol (g/s)

m_A : Flujo másico del aire (g/s)

h : Diámetro de la cámara de mistura (cm)

σ : Tensión superficial del etanol (dinas/cm)

ρ_{AT} : Densidad del aire (g/cm³)

ΔU : Velocidad del aire de atomización (m/s)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El inyector tipo Y en uso, fue dimensionado de tal manera que trabaje a una potencia térmica de 5 kW, y un flujo másico de

etanol de 0,18 g/s. La boquilla del inyector de aire y de etanol es de 0,2 mm de diámetro, la cámara de mistura donde los flujos convergen tiene como medida de diámetro 0,35 mm y una longitud de 1,3 mm. En primer lugar, se esbozó el inyector con las medidas mencionadas en el programa, seguidamente se introdujeron las condiciones de frontera en el lid (espesor que cubre la entrada del fluido) del aire y también del etanol. En la lid del etanol se introdujo como condiciones los 0,18 g/s mientras que en el aire se variaron las presiones de estancamiento para apreciar su influencia en el GLR, DMMD y la velocidad.

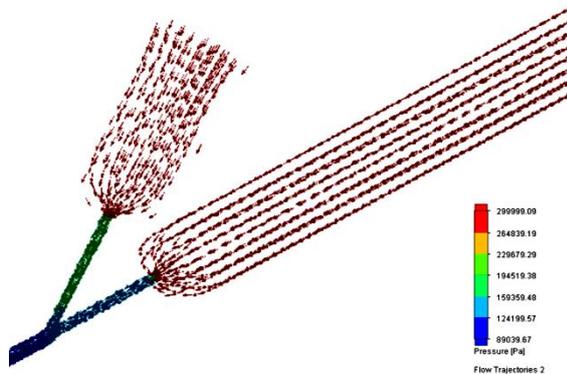


Figura 1. Vista isométrica del aire a 300 kPa y con flujo de combustible de 0,18g/s.

Los valores necesarios para evaluar la ecuación Wigg, fueron tomados de las tablas predeterminadas por el Software.

V : 1,451423 (cSt)
 mF : 0,18 (g/s)
 h : 0,035 (cm)
 σ : 22,3 (dinas/cm)

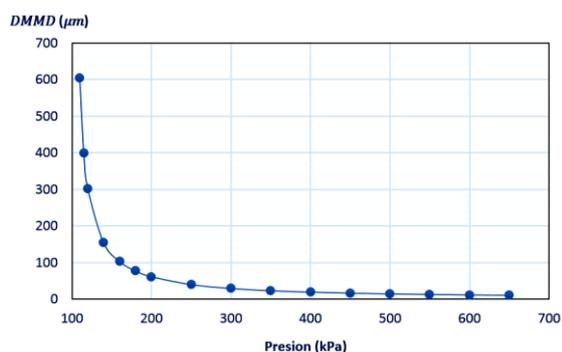


Figura 2. Dependencia del Diámetro medio de masa y la presión de estancamiento del aire.

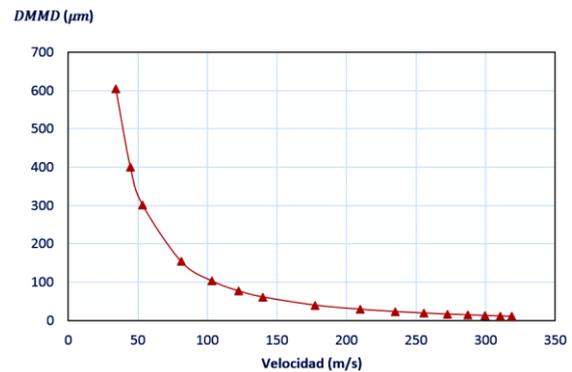


Figura 3. Dependencia del Diámetro medio de masa y la velocidad de entrada a la cámara.

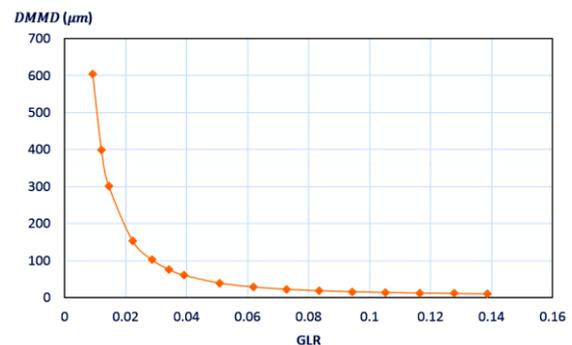


Figura 4. Dependencia del Diámetro medio de masa y el GLR.

Tanto el flujo másico del aire, como su densidad y velocidad varían conforme cambie su presión de estancamiento. Para la medición del flujo se introdujeron Surface Goals en el lid de entra del aire, la velocidad es evaluado en la entrada de la cámara de mistura (salida de la boquilla de aire).

CONCLUSIONES

Las simulaciones realizadas por el Software Flow Simulation, para un inyector tipo Y con potencia térmica de 5 kW y con flujo másico constante de 0,18 g/s obtuvo tres graficas importantes para la caracterización de este tipo de inyectores utilizando como combustible el etanol. En este estudio se comprobó que para presiones de estancamiento de aire mayor a 180 kPa el diámetro de las gotas es óptimo, y que para presión que se acercan a condiciones atmosféricas, como presiones menores a 150 kPa, los resultados son técnicamente ineficaz para poder logra una buena atomización. Los resultados mostrados para la velocidad en la salida de la boquilla del logran tener mejor diámetro cuando se acercan más al

régimen sónico obteniendo valores de alrededor de 12 μm . Además, se logró confirmar que para valores dentro de la faja de 0,05 – 0,15 de GLR se obtienen buenos datos de los diámetros de gota, sin embargo, la faja que este estudio propone es mucho más amplia para el etanol, hallando una gran performance del atomizado en la faja de 0,034 – 0,15 de GLR.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashgriz. 2011. Handbook of Atomization and Sprays. S.l.: s.n. ISBN 9781441972637.
- Baukal, C.E. 2014. Combustion Handbook. S.l.: s.n. ISBN 9781439839638.
- Beér, J. y Chigier, N. 1983. Combustion Aerodynamics. Malabar: Robert E. Krieger Publishing Company .
- Beér, J. y Chigier, N. 1983. Combustion Aerodynamics. Malabar: Robert E. Krieger Publishing Company .
- Chen, Z.; Yao, A.; Yao, C.; Yin, Z.; Xu, H.; Geng, P.; Dou, Z.; Hu, J.; Wu, T.; Ma, M. 2017. Effect of fuel temperature on the methanol spray and nozzle internal flow. Applied Thermal Engineering [en línea], vol. 114, pp. 673-684. [Consulta: 25 marzo 2017]. ISSN 13594311. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2016.12.025.
- Choudhury, P. 2015. Theoretical And Experimental Investigation Of The Cascading Nature Of Pressure-Swirl Atomization.
- Chumpitaz Ayala, G.R. 2016. Estudo da atomização e caracterização de injetores utilizando óleo pirolítico de pneu usado puro e em misturas com diesel. S.l.: Universidade Federal de Itajubá.
- De Azevedo, C.G.; De Andrade, J.C.; De Souza Costa, F. 2016. Effects of injector tip design on the spray characteristics of soy methyl ester biodiesel in a blurry injector. Renewable Energy [en línea], vol. 85, pp. 287-294. ISSN 09601481. DOI 10.1016/j.renene.2015.06.021.
- González, C.A.Q.; Torres, W.E.A.; Costa, F.S.; Jr, J.A.C.; Guaratinguetá, F.D.E.; De Paulista, U.E. 2013. Análisis de flujo y su influencia en el diámetro medio de las gotas para inyectoras de mistura interna tipo Y. , vol. 121501652, no. 2012, pp. 1-9.
- Jiang, L.; Agrawal, A.K.; Taylor, R.P. 2014. Clean combustion of different liquid fuels using a novel injector. Experimental Thermal and Fluid Science [en línea], vol. 57, pp. 275-284. ISSN 08941777. DOI 10.1016/j.expthermflusci.2014.05.002.
- Kegl, B. y Hribernik, A. 2006. Experimental analysis of injection characteristics using biodiesel fuel. Energy and Fuels, vol. 20, no. 5, pp. 2239-2248. ISSN 08870624. DOI 10.1021/ef060285m.
- Khalid, A.; Sapit, A.; Anuar, M.N.; Him, R.; Manshoor, B.; Zaman, I.; Ngali, Z. 2014. Analysis of Fuel Injection Parameter on Biodiesel and Diesel Spray Characteristics Using Common Rail System. Advanced Materials Research [en línea], vol. 974, pp. 362-366. ISSN 1662-8985. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.974.362.
- Lacava, P.T. 2004. Atomizador Tipo «Y-Jet» – Projeto, Características Do Spray E Combustão. Proceedings of the 10o Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering.
- Lefebvre, A.H. 1989. Atomization and spray. 1989. S.l.: s.n. ISBN 0-89116-603-3.
- Liaquat, A.M.; Masjuki, H.H.; Kalam, M.A.; Rizwanul Fattah, I.M. 2014. Impact of biodiesel blend on injector deposit formation. Energy [en línea], vol. 72, pp. 813-823. ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2014.06.006.
- Moon, S. 2016. Novel insights into the dynamic structure of biodiesel and conventional fuel sprays from high-pressure diesel injectors. Energy [en línea], vol. 115, pp. 615-625. ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2016.09.062.
- Mullinger, P. y Chigier, N. 1974. The design and performance of internal mixing multijet twin fluid atomizers. Journal of the institute of fuel, 47, pp. 251 - 261.
- Pathak, V.K. y Gupta, S. 2015. Study of nozzle injector performance using cfd. , vol. 4, no. 3, pp. 153-160.
- Payri, R.; Gimeno, J.; De La Morena, J.; Battiston, P.A.; Wadhwa, A.; Straub, R. 2016. Study of new prototype pintle injectors for diesel engine application. Energy Conversion and Management [en línea], vol. 122, no. x, pp. 419-427. ISSN 01968904. DOI 10.1016/j.enconman.2016.06.003.
- Quispe Gonzales, C.A. 2013. Investigação de injetores tipo Y e efervescentes para a atomização da mistura de glicerina e etanol [en línea]. S.l.: UNESP.
- Rakopoulos, C.D.; Antonopoulos, K.A.; Rakopoulos, D.C.; Hountalas, D.T.; Giakoumis, E.G. 2006. Comparative performance and emissions study of a direct injection Diesel engine using blends of Diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins. Energy Conversion and Management, vol. 47, no. 18-19, pp. 3272-3287.
- Slavinskas, S. 2015. PTNSS-2015-203 Experimental study on injection characteristics of diesel-bioethanol fuel blends. Combustion Engines, vol. 161, no. 2, pp. 28-32.
- Song, S. y Lee, S. 1996. Study of atomization mechanism of gas/liquid mixtures flowing through YJet atomizers. Atomization and Sprays, 6, pp. 193 - 209.
- Song, S. y Lee, S. 1996. Study of atomization mechanism of gas/liquid mixtures flowing through YJet atomizers. Atomization and Sprays, 6, pp. 193 - 209.
- Zhang, G. y Hung, D.L.S. 2015. Temporal investigations of transient fuel spray characteristics from a multi-hole injector using dimensionless analysis. Experimental Thermal and Fluid Science [en línea], vol. 66, pp. 150-159. ISSN 08941777. DOI 10.1016/j.expthermflusci.2015.03.011.