



Simulación CFD del comportamiento de la velocidad y presión en un inyector tipo Y trabajando con etanol y aire

CFD simulation study of the behavior of speed and pressure in a type Y injector, working with ethanol and air

Samir Boset Rojas Chávez ^{1,*}; **Diego Jhovany Mariños Rosado** ¹; **Miguel Ángel Huaraz Rodríguez** ¹; **Roberto Chucuya Hualpachoco** ²

¹ Escuela de Ingeniería en Energía (Universidad Nacional del Santa) Av. Pacífico 508 - Nuevo Chimbote. Ancash, Perú.

² Departamento de Energía y Física (Universidad Nacional del Santa) Av. Pacífico 508 - Nuevo Chimbote. Ancash, Perú.

RESUMEN

En el presente estudio se hace uso del software Flow simulation para analizar un inyector tipo Y con el método computational fluid dynamics (CFD). Este tipo de investigación ayuda a comprender el comportamiento de las dos variables principales en la atomización de fluidos, el campo de presión y velocidad. Por la naturaleza milimétrica de las dimensiones del accesorio, hace prácticamente imposible realizar un seguimiento de las variables a escala real. Se hicieron uso de dos fluidos, actuando como combustible atomizado el etanol y como gas de atomización el aire. Primero se realizó el mado del sólido para poder analizar la influencia de la presión en el flujo másico del etanol, y aparte la influencia de la presión sobre el flujo de aire, de donde se obtuvieron, después de muchas iteraciones, dos gráficas de comportamiento cuasi parabólico. Uniendo finalmente los dos fluidos, se aplicaron líneas de trayectoria a lo largo de la longitud del inyector para poder observar el comportamiento de las variables en todo el eje Z.

Palabras clave: simulación; inyector tipo Y; etanol; presión y velocidad.

ABSTRACT

In the present study, Flow simulation software is used to analyze a type Y injector with the computational fluid dynamics (CFD) method. This type of research helps to understand the behavior of the two main variables in fluid atomization, pressure field and velocity field. Due to the millimeter nature of the accessory dimensions, it makes it practically impossible to track the variables on a real scale. Two fluids were used, the ethanol being atomized fuel and the air being atomized gas. First, the solid was meshed in order to analyze the influence of the pressure on the mass flow of ethanol, and besides the influence of the pressure on the air flow, from were obtained after many iterations, two graphs of quasi-behavior parabolic. By finally joining the two fluids, trajectory lines were applied along the length of the injector to be able to observe the behavior of the variables along the Z axis.

Keywords: simulation; Y type injector; ethanol; pressure and speed field.

1. Introducción

El avance de los países exige el crecimiento de la producción de energía y combustibles para el movimiento de las industrias y del transporte, siendo los combustibles fósiles la materia crucial para la obtención de esta energía. En todo el mundo, es conocido y aceptado el hecho de que los combustibles fósiles son una fuente de energía no renovable y, por lo tanto, se agotarán.

En este contexto, cada vez más el precio de la gasolina, el diesel y los derivados del petróleo tienden a aumentar y, cada año, el consumo aumenta y las reservas disminuyen. Además del

problema físico, hay el problema político: donde cada amenaza de guerra o crisis internacional, el precio del barril de petróleo se eleva.

Actualmente, la mayor parte de la energía consumida en el mundo proviene de los combustibles fósiles. Por ser limitadas las reservas de petróleo en la Tierra, el aumento del precio del barril del petróleo se ha seguido incrementando en las últimas décadas. La necesidad de reducir el CO₂ como parte del producto de la combustión de combustibles fósiles resultó en la búsqueda de nuevas tecnologías para producir nuevos tipos de

combustibles y aditivos para los combustibles tradicionales.

En este contexto, las fuentes de energía renovables asumen un papel importante en el mundo contemporáneo debido a la posibilidad de escasez de las reservas de petróleo, a la fluctuación de los precios de los combustibles fósiles y la contaminación ambiental generada por el empleo de estos combustibles. La búsqueda de nuevas fuentes de energía renovable que aseguran el desarrollo sostenible de la energía sociedad mundial, así como la necesidad de un sustituto energético capaz de mantener el equilibrio el modo de producción actual, llevó al desarrollo de nuevas tecnologías. Una de estas tecnologías es aquella que utiliza la biomasa para producir combustibles y materiales de fuentes renovables de carbono, los cuales se llamaron biocombustibles.

El uso de los biocombustibles generalmente presenta numerosos beneficios, incluyendo sostenibilidad, reducción de los gases de efecto invernadero, desarrollo regional, social y agrícola (Demirbas, 2007). Además, los combustibles son biodegradables y no presentan emisiones de NOx y de CO, siendo, de esta forma, ambientalmente benéficos (Ma y Hanna, 1999).

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.

Todos los licores alcohólicos que proceden de la fermentación del azúcar de alguna planta se pueden denominar como bioetanol.

Debido al aumento de las medidas tomadas para controlar las emisiones totales de gases con efecto invernadero, la utilización de este alcohol como combustible para el transporte y la industria está creciendo. Un análisis del ciclo de vida completo de este producto como combustible muestra como las emisiones generadas en el proceso de producción del combustible y las de operación son compensadas por las fijadas en el cultivo durante su crecimiento.

Para el uso del etanol en la industria, específicamente en hornos, generados y

motores, se necesita de un estudio minucioso de la atomización de combustibles renovables, una parte importante de este proceso es conocer el comportamiento del campo de velocidades y presión durante la inyección para así conocer en que regímenes se desenvuelve mejor un spray.

2. Materiales 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:

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

Momentum:

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

Energía:

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

Energía cinética turbulenta:

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

Energía por disipación turbulenta:

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

Donde los términos S_ε y S_k se define como:

$$S_k = \tau_{if}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \mu_t P_B$$

$$S_\varepsilon = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \left(f_1 \tau_{if}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu_t C_B P_B \right) - C_{\varepsilon 2} f_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{k}$$

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

$$P_B = - \frac{g_i}{\sigma_B \rho} \frac{1}{x_i} \frac{\partial \rho}{\partial x_i}$$

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

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

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

Las constante 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:

$$C_\mu = 0.09, C_\varepsilon = 1.3, C_{\varepsilon 2} = 1.92, \\ C_{\varepsilon 1} = 1.44, C_k = 0$$

La simulación realizada en el programa Solidwoks 2016, con ayuda del complemento Flow Simulation, fue de gran ayuda en el análisis dinámico del fluido. Para estudiar el inyector se creó un nuevo proyecto en Wizard, escogiendo como unidades a usar el sistema internacional (kg-s-m), el tipo de análisis fue interno excluyendo cavidades sin condiciones de flujo, se escogieron dos fluidos el etanol y como gas de atomización el aire. Además las paredes se consideraron como adiabáticas. Siguientemente se alineo el dominio computacional de acuerdo a la toma de datos. Se introdujeron las condiciones de frontera para cada lid, exactamente existen 3 lids, el de suministro de etanol, el de suministro de aire y el de la salida de la cámara de mistura. A cada uno de ellos se asignó una presión de estancamiento. Para hallar los datos obtenidos se introdujeron Surface goals en los lids y point goals para medir la velocidad en centro del diámetro de la boquilla de aire.

3. Resultados y discusión

Como parte de la simulación se tuvo mallar la primera zona, la cual formar parte la cámara de

mistura y la boquilla de 52° de inclinación del combustible etanol.

Para este mallado se ingresaron las variables de contorno las cuales se aplicaron sobre los lids de salida de la cámara de mistura con 101.325 kPa (Presión ambiental) y el lid de 2 mm de diámetro de entrada al etanol, cambiando valores en una faja de 110 – 500 kPa.

En la primera simulación se realizaron 65 iteraciones por cada presión de estancamiento, de los cuales se hicieron uso de convergencia y progresos del 100%. Se ingresaron Surface Goals en el Lid de suministro de etanol para medir el flujo másico en kg/s de combustible, suministrado al inyector.

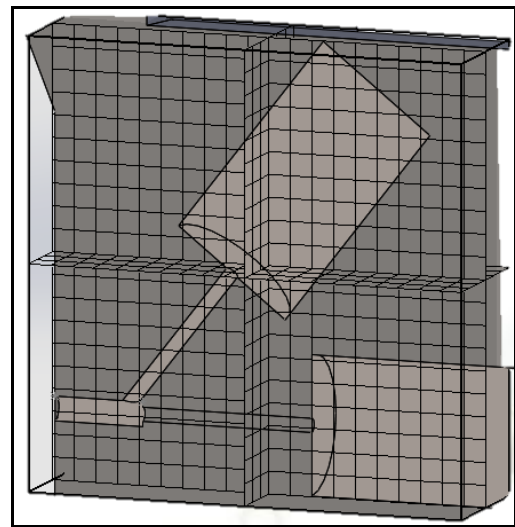


Figura 1. Global Mesh de la boquilla de combustible y la cámara de mistura.

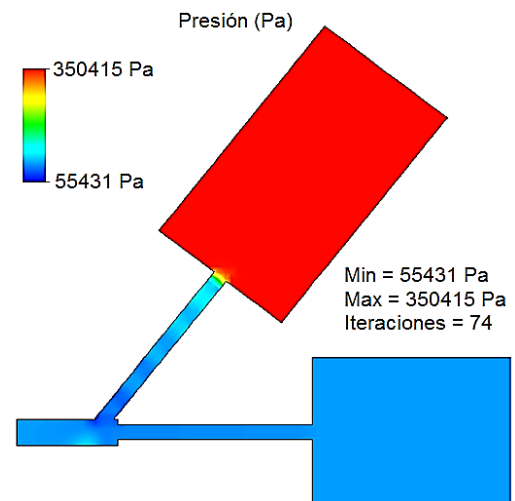


Figura 2. Vista lateral del campo de presión del etanol, a una presión de 350 kPa.

La influencia de la presión de estancamiento del etanol sobre su flujo másico tiene un comportamiento cuasipolinómico de grado 2 con un R= 0.9872, a la vez que es aumentada la

presión aumente el flujo de masa, sin embargo cuando este decae a valores cercanos a la presión ambiental (101.325 kPa) se aprecia la caída con comportamiento polinómica más pronunciado desde la franja de 150 kPa a 100kPa.

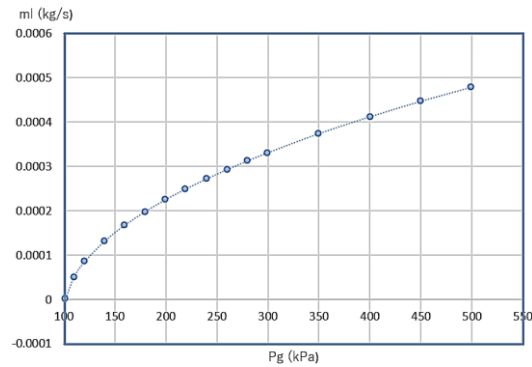


Figura 3. Flujo másico de etanol en función de la presión de estancamiento

Dentro de la caracterización de la presión y velocidad se aplicaron 50 líneas de flujo para así notar el comportamiento de las variables a lo largo de la longitud.

Se puede apreciar que cuando la presión entra en la boquilla de 0.2 mm la presión cae, subiendo paralelamente la velocidad desde el estancamiento hasta los 10 m/s. Seguidamente el flujo se expande para llegar a la cámara de

mistura decayendo la presión gradualmente a la misma vez que la velocidad se mantiene casi constante. Cuando el flujo se desarrolla a lo largo de la cámara se observa cómo se estabiliza la presión y la velocidad.

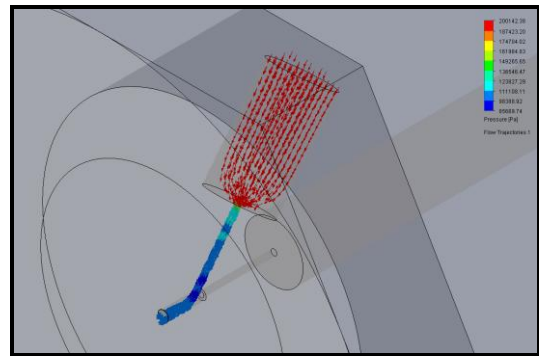


Figura 4. Vista isométrica del etanol a 200 kPa de presión de estancamiento.

En la segunda simulación se realizó malla a toda la boquilla de aire de 2/0,2 mm y a la cámara de mezcla, donde se ingresaron las variables de contorno las cuales se aplicaron sobre los lids de salida de la cámara de mezcla con 101.325 kPa (Presión ambiental) y sobre la capa 2 mm de diámetro para el ingreso de aire, actuando con valores en la franja de 110 – 650 kPa.

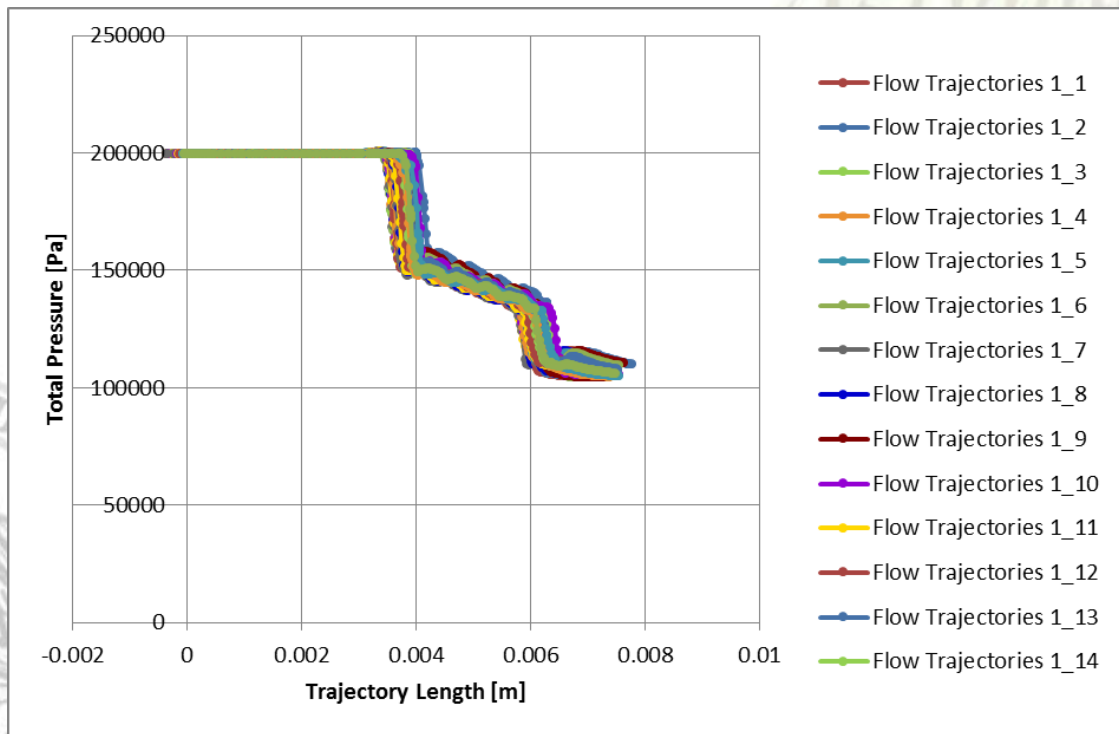


Figura 5. Comportamiento de la presión a lo largo de la longitud del inyector.

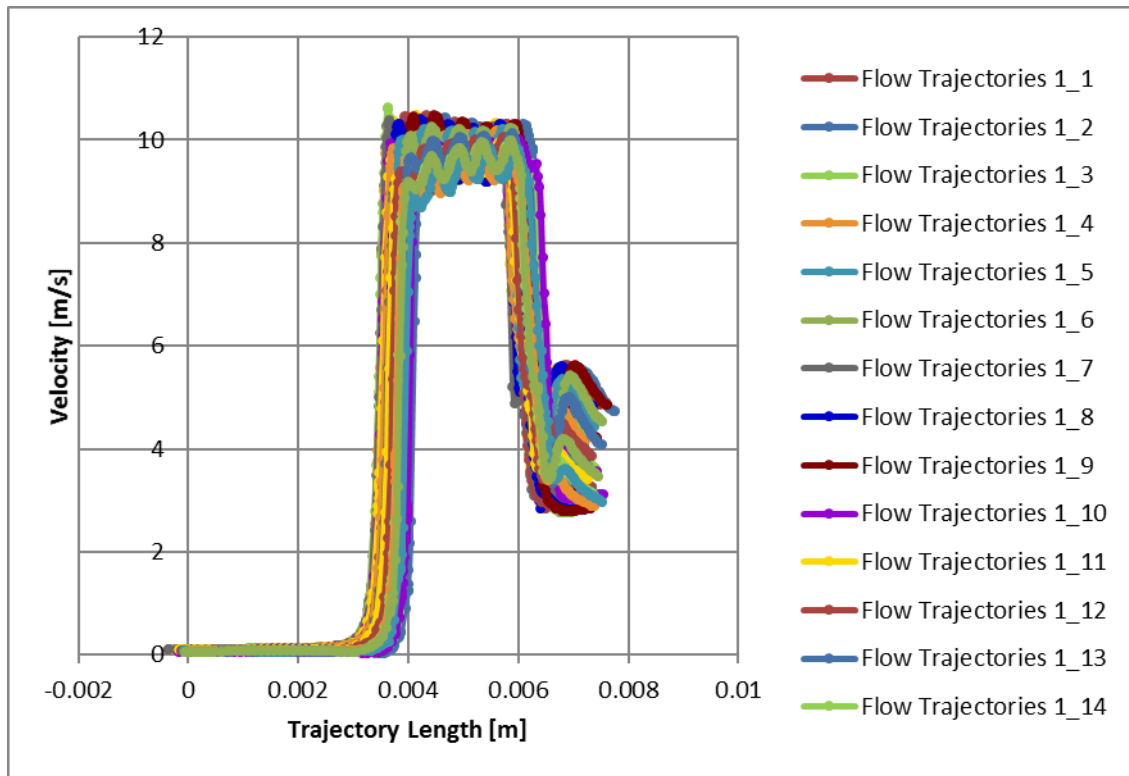


Figura 6. Comportamiento de la presión a lo largo de la longitud del inyector.

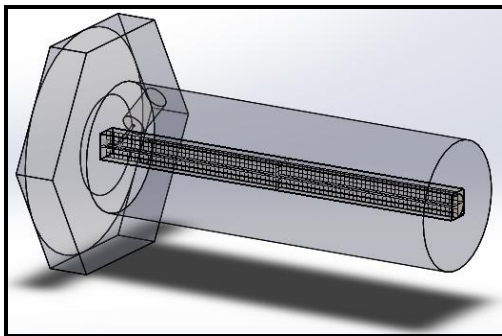


Figura 7. Global Mesh de la boquilla de aire y la cámara de mistura.

Para esta parte del estudio se realizaron 50 iteraciones por cada presión de estancamiento, de los cuales se hicieron uso de convergencia y progresos del 100%. Se ingresaron Surface Goals en el Lid de suministro de aire para medir el flujo másico en kg/s del gas, suministrado al inyector.

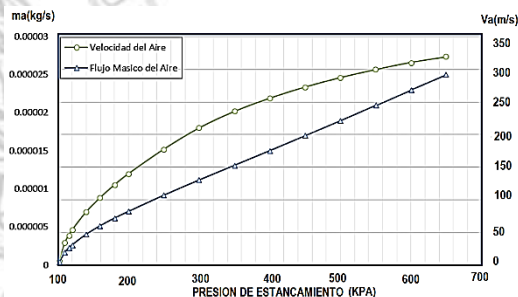


Figura 8. Flujo másico y velocidad del aire en función de la presión de estancamiento.

La influencia de la presión sobre flujo másico de aire es lineal, sin embargo la velocidad tomada en la salida de la boquilla de aire (entrada a la cámara de mistura), tiende a comportarse de manera sónica cada vez que la presión aumenta confirmando lo estudiado por [Baukal y Schwartz \(2001\)](#). Cuando es aumentada la presión aumente el flujo de masa y la velocidad , sin embargo cuando este decae a valores cercanos a la presión ambiental (101.325 kPa) se aprecia la caída con comportamiento polinómica más pronunciado desde la franja de 120 kPa a 100kPa.

Dentro de la caracterización de la presión y velocidad se aplicaron 50 líneas de flujo, de las cuales solo se muestran 14 en las gráficas, para así notar el comportamiento de las variables a lo largo de la longitud.

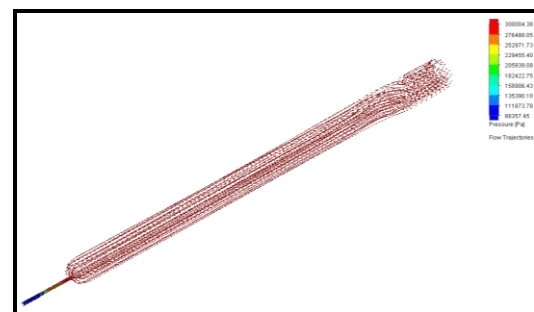


Figura 9. Vista isométrica del aire a 300 kPa de presión de estancamiento.

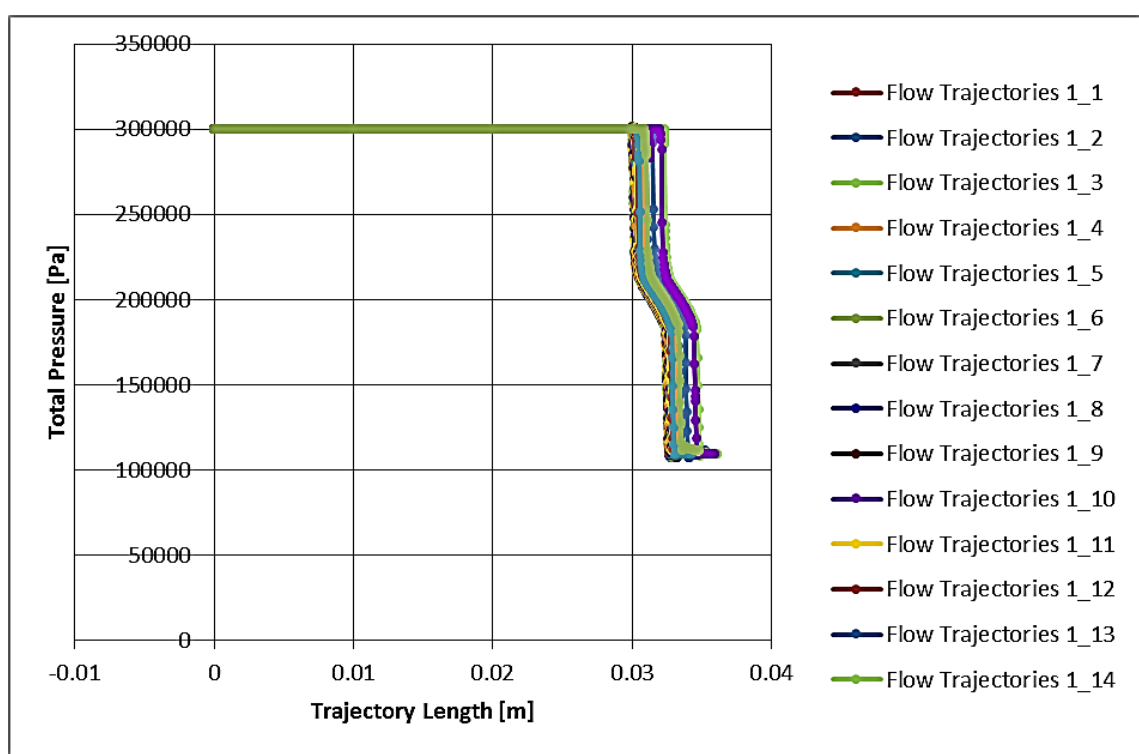


Figura 10. Comportamiento de la presión a lo largo de la longitud del inyector.

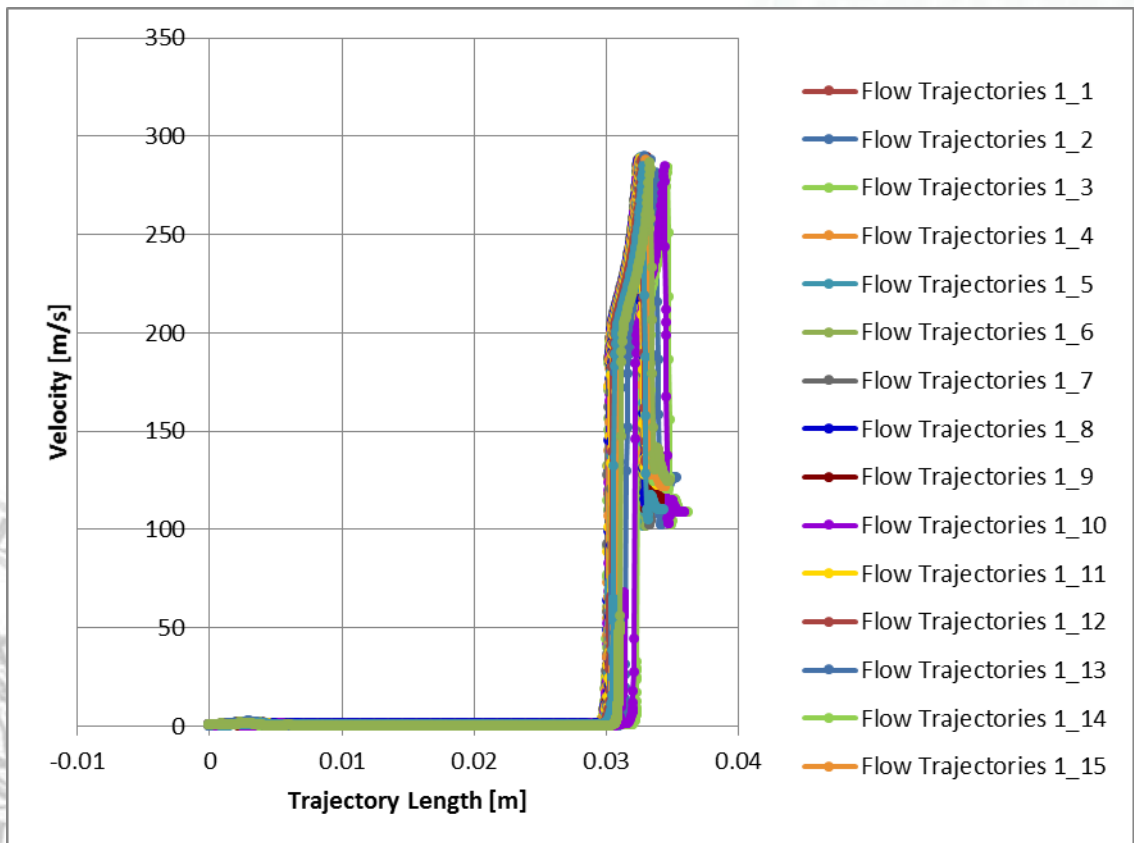


Figura 11. Comportamiento de la velocidad a lo largo de la longitud del inyector.

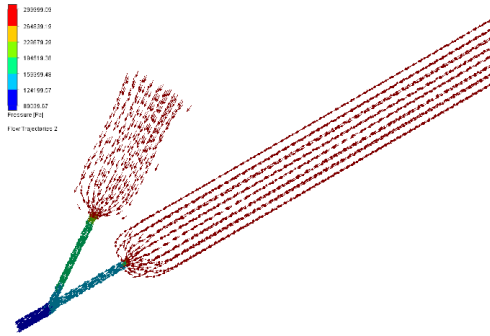


Figura 12. Vista isométrica del aire a 300 kPa y etanol a 280 kPa de presión de estancamiento.

Cuando la presión entra en la boquilla de 0.2 mm la presión cae de 300 kPa a 220 kPa aumentando su energía cinética con su principal variable cuadrática, la velocidad, llegando 200 m/s. A continuación el flujo se expande para llegar a la cámara de mistura decayendo la presión gradualmente hasta llegar a presiones alrededor de los 120 kPa y así la velocidad se estabiliza 125 m/s que la velocidad de salida de la cámara de mistura. Cabe recalcar que las mayores velocidades, las cuales están cerca del

régimen sónicos, se encuentran cerca de la salida de la boquilla del conducto de 0,2 mm de aire. Dato que confirma las consideraciones tomadas en cálculos realizados en otras investigaciones.

Finalmente se realizó la simulación de los dos fluidos (etanol y aire), el cual se puede apreciar desde la figura 12 a 14, donde los datos hallados son muy similares a las gráficas ya plasmadas, mejor dicho las que fueron estudiadas solo con un fluido. Sin embargo en la Figura 13 y 14 notamos como en la cámara de mistura la presión prácticamente se estabilizó a un grupo de valores cercanos a 130 kPa.

En la velocidad no se consigue el mismo comportamiento que en la presión, aquí la variable del fluido aumenta en grandes proporciones comparado con el caso en este se encuentre solo, este es ayudado por el aire a aumentar su cantidad de movimiento para así poder despegar los ligamentos formados por el cizallamiento que ocurre en la cámara de mistura, disminuyendo a la vez la energía cinética del aire con valores proporcionales a 60 m/s.

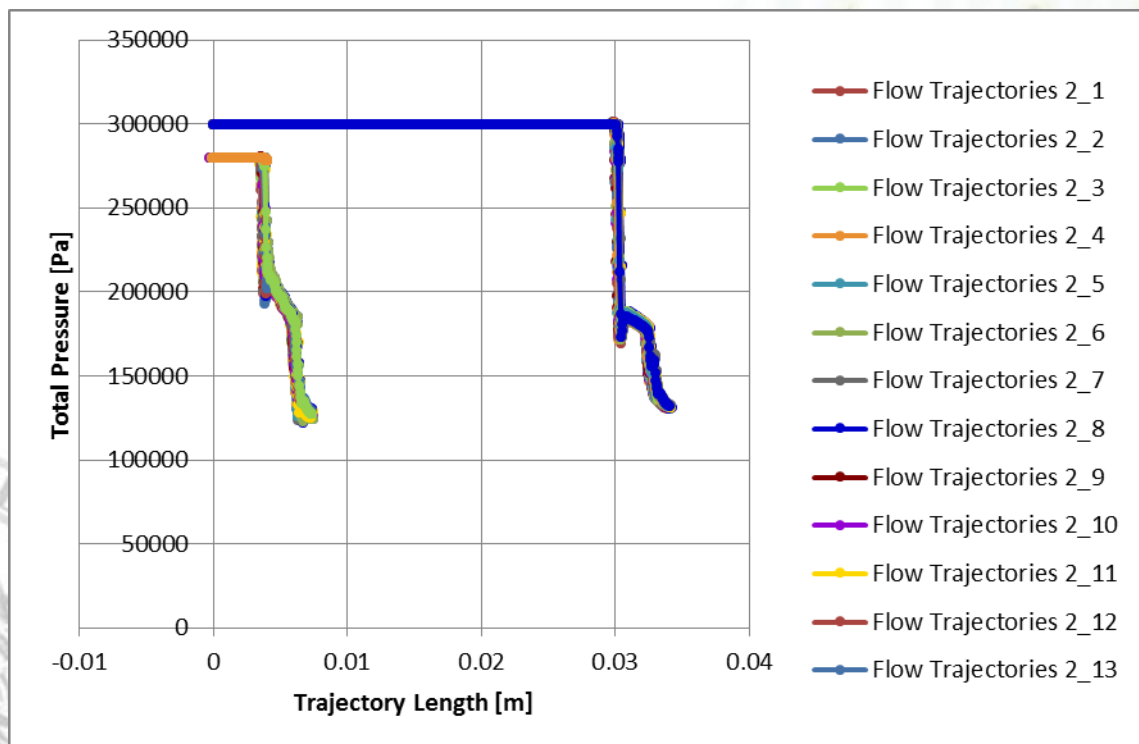


Figura 13. Comportamiento de la presión a lo largo de la longitud del inyector.

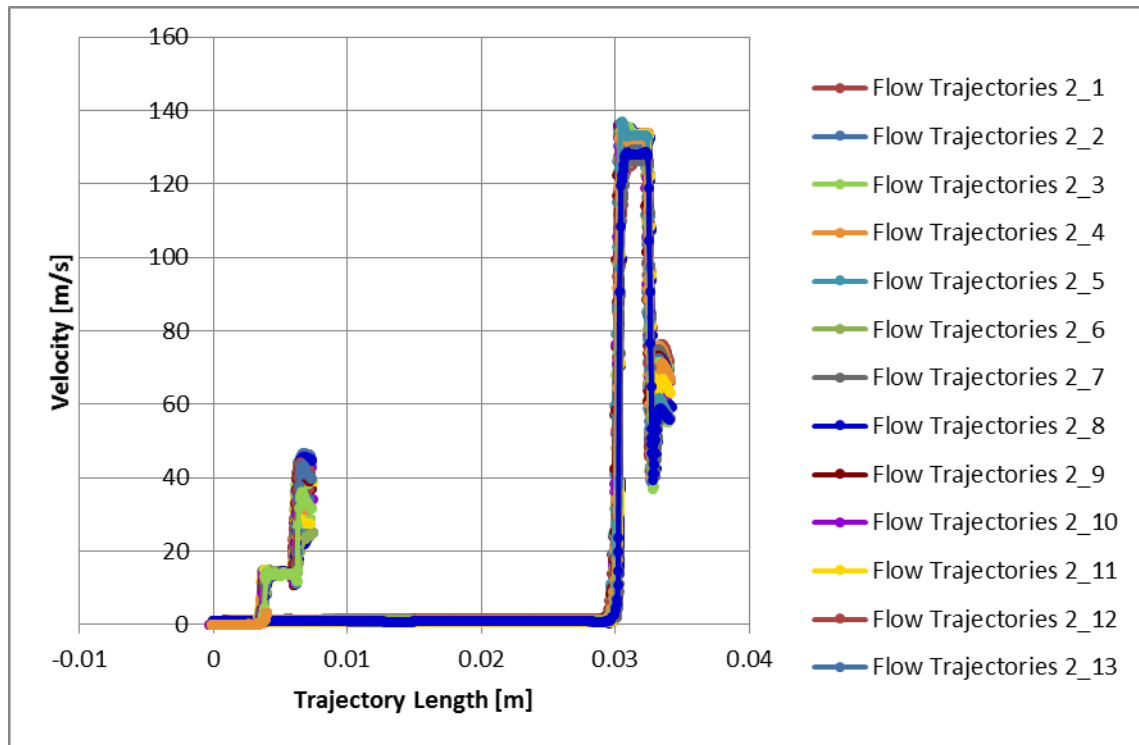


Figura 14. Comportamiento de la velocidad a lo largo de la longitud del inyector.

4. Conclusiones

Aplicando el estudio CFD con el software Flow Simulation, se pudo analizar diferentes condiciones y estados en los que son sometidos el etanol y el aire. Se evaluó trabajando individualmente con los fluidos para poder reconocer el tipo de comportamiento que genera la presión de estancamiento sobre el flujo másico de cada uno de ellos, observando que para ambos casos la tendencia es lineal con la excepción de que al acercarse a los valores de presión atmosférica los valores caen drásticamente generando un pequeño rango de tendencia polinómica cuadrada. Para la velocidad medida en la salida de la boquilla del inyector de aire, fueron adquiridos valores cercanos al régimen sónico, lo que confirma las suposiciones creadas en el dimensionamiento de inyectores tipo Y. En la mezcla de los dos flujos se pudo observar compensación de energía cinética y de flujo en los Flow trajectories, notando claramente que el aire aumenta la cantidad de movimiento del etanol para así poder desintegrar los ligamentos del combustible y llegar a una buena atomización.

Referencias bibliográficas

- Ashgriz, 2011. Handbook of Atomization and Sprays. S.I.: s.n. ISBN 9781441972637.
- Beér, J., y Chigier N. 1983. Combustion Aerodynamics. Malabar: Robert E. Krieger Publishing Company.
- 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.I.: Universidade Federal de Itajubá.
- 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.I.: s.n. ISBN 0-89116-603-3.
- 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.
- Quispe Gonzales, C.A. 2013. Investigaçao de injetores tipo Y e efervescentes para a atomizaçao da mistura de glicerina e etanol [en línea]. S.I.: UNESP. Disponible en: http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/106397/gonzales_caq_dr_quara.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- 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.