

DIÁMETROS MEDIOS DE AEROSOLES ATOMIZADOS POR ULTRASONIDO

RUBÉN C. ESQUIVEL Y WILLIAM VICENTE

Romper un cuerpo líquido en gotas pequeñas es un proceso con utilidad en aplicaciones industriales, como el recubrimiento de superficies y pinturas; en aplicaciones químicas, como la combustión; en aplicaciones médicas, como el suministro de medicamentos; incluso en la agricultura, como la dispersión de insecticidas y el control de la humedad del aire. Este proceso recibe el nombre de atomización y se produce por la discrepancia entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo líquido (Lefebvre y McDonell 2017).

El conjunto de gotas recibe el nombre de aerosol y se describe con una distribución de probabilidad de los posibles diámetros de las gotas que lo componen. Los momentos de la distribución reciben el nombre de diámetros medios y expresan la fineza del aerosol. Diferentes aplicaciones requieren de aerosoles con determinados diámetros medios, por lo que el diseño de atomizadores requiere de herramientas que permitan su cálculo.

La quema eficiente de un combustible líquido requiere que el combustible se atomice y disperse en el aire que se utilizará como comburente, formando la mezcla aire-combustible. La finalidad de la atomización es maximizar la superficie de contacto entre el combustible y el comburente, pues en la superficie líquida ocurre la reacción de combustión. La fineza de las gotas influye en la velocidad del frente de flama, el porcentaje de combustible quemado, la temperatura de combustión, la autoignición de la mezcla aire-combustible y las emisiones contaminantes. Los factores mencionados repercuten en el desempeño de un vehículo al afectar la eficiencia y potencia del motor; el consumo específico de combustible, el tiempo que tarda el motor en alcanzar la temperatura de operación, la eficiencia de conversión del catalizador automotriz y las emisiones vehiculares (Reif 2015).

Uno de los proyectos de investigación del Instituto de Ingeniería en conjunto con la UNICE (Unidad de Investigación y Control de Emisiones de la Facultad de Ingeniería) es analizar los procesos de atomización y su aplicación en motores de combustión interna.

Automatización ultrasónica

Una forma de romper el cuerpo líquido es mediante la acción de ondas acústicas de alta frecuencia e intensidad. La Figura 1

ilustra el proceso de atomización: un substrato vibra con una frecuencia f y una amplitud r excitando una capa líquida de densidad ρ , viscosidad μ y tensión superficial σ que eyecta gotas de diámetro D a una tasa volumétrica \dot{V} ; las gotas se eyectan por la fractura de ondas capilares de longitud de onda λ causadas por la acción de la vibración del substrato, la formación de las ondas capilares recibe el nombre de inestabilidad de Faraday (Müller, *et al.* 1998).

Con la finalidad de analizar la relación entre las seis variables independientes que modelan la atomización ultrasónica y los diámetros medios de los aerosoles, se realizan muestreos experimentales de aerosoles atomizados a partir de fluidos con diferentes densidades, viscosidades y tensiones superficiales a distintos gastos volumétricos y desplazamientos de vibración.

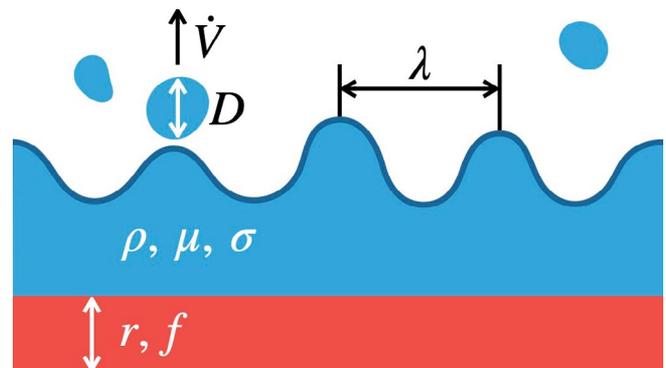


Figura 1. Diagrama del proceso de atomización ultrasónica

Metodología

Para variar la viscosidad del fluido se analizan mezclas de agua destilada y glicerina; para variar la tensión superficial se emplean mezclas de agua destilada con etanol; finalmente, se atomiza agua destilada a distintos gastos volumétricos para analizar su influencia en los diámetros medios. La intensidad de vibración se ajusta de acuerdo con el gasto para obtener una atomización estable. La Tabla 1 muestra las mezclas y sus propiedades; así como el gasto volumétrico y la amplitud de vibración que se emplean en cada prueba, todas son atomizadas a 2.4 MHz.

El atomizador consiste en un disco de PZT de 12 mm. El líquido se suministra al disco a través de una jeringa accionada por un motor a pasos para mantener un flujo constante. El disco se orienta hacia abajo para permitir el muestreo del aerosol.

Tabla 1. Parámetros de las pruebas experimentales de atomización obtenidos de Khattab *et al.* 2012 y Takamura *et al.* 2012

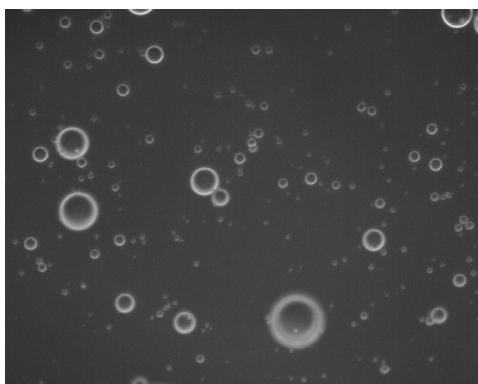
Solución %	ρ kg/m ³	μ mPa s	ρ mN/m	r nm	V mm ³ /s
Agua	998.7	1.002	72.75	251	2.649
Agua	998.7	1.002	72.75	317	7.947
Agua	998.7	1.002	72.75	419	13.25
Etanol 10	973.1	1.837	43.37	419	7.947
Etanol 20	948.9	2.586	34.21	419	7.947
Etanol 30	925.8	3.078	30.9	419	7.947
Glicerol 15	1032	1.32	70	419	7.947
Glicerol 30	1090	2.5	68	419	7.947
Glicerol 50	1130	6.05	65	443.4	7.947

Cuando se alcanza una atomización estable, se coloca un portaobjetos recubierto con aceite de silicona a 20 mm. debajo del atomizador durante un segundo para recoger la muestra. Inmediatamente, el portaobjetos se fotografía con un microscopio digital Dino-Lite™ bajo un aumento de 950x. Se toman fotografías de la muestra durante un periodo de treinta segundos para evitar la coalescencia y dilución de las gotas en el aceite de silicona. Para cada prueba, el muestreo de gotas se repite cuatro veces. Las fotografías se analizan con el *software* de código abierto ImageJ para obtener la distribución del tamaño de las gotas. El análisis consiste en identificar las gotas fotografiadas con una circularidad de 90% o mayor, esto con la finalidad de evitar errores de medición causados por las imágenes de gotas superpuestas, como se observa en la Figura 2. Posteriormente, el área de cada gota identificada

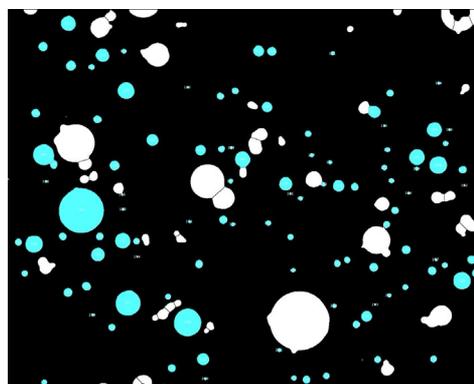
se mide y se asigna el diámetro de un círculo con un área equivalente como diámetro de la gota, pues experimentalmente se ha demostrado que las gotas capturadas dentro del aceite de silicona adoptan una forma esférica (Tate 1961).

Resultados

La Figura 3 muestra las distribuciones para la atomización de agua destilada con tres distintos gastos volumétricos. Se observa que, al incrementar el gasto y la intensidad de atomización, la distribución tiende a sesgarse a partículas de mayor tamaño. La Figura 4 muestra los resultados para las mezclas agua-etanol, y la Figura 5 los resultados para las mezclas agua-glicerol. Se observa que los diámetros medios tienden a incrementar cuando aumentan la viscosidad y la tensión superficial.



a)



b)

Figura 2. Análisis de la muestra de aerosoles: a) fotografía de las gotas y b) identificación en ImageJ™ de las gotas y medición de su área

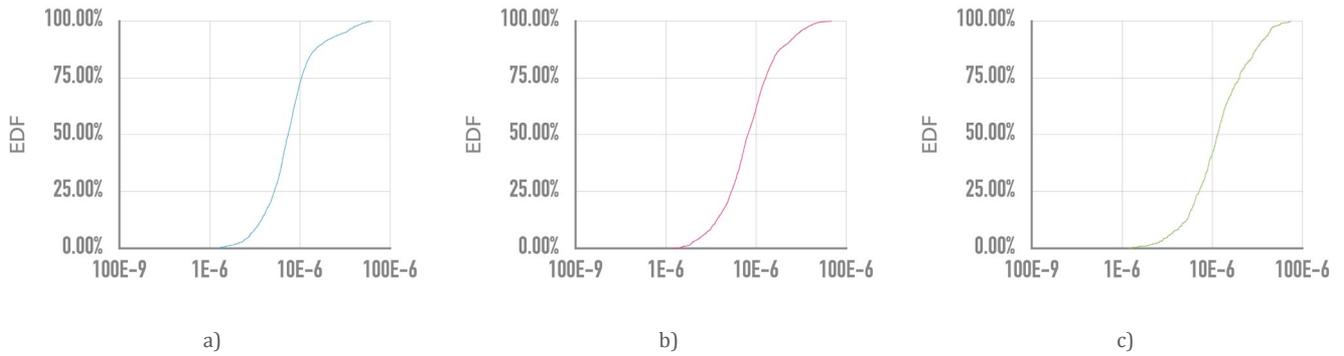


Figura 3. Distribuciones acumulativas empíricas del aerosol de agua destilada: a) gasto de 2.6 mm³/s, b) gasto de 7.9 mm³/s y c) gasto de 13.3 mm³/s

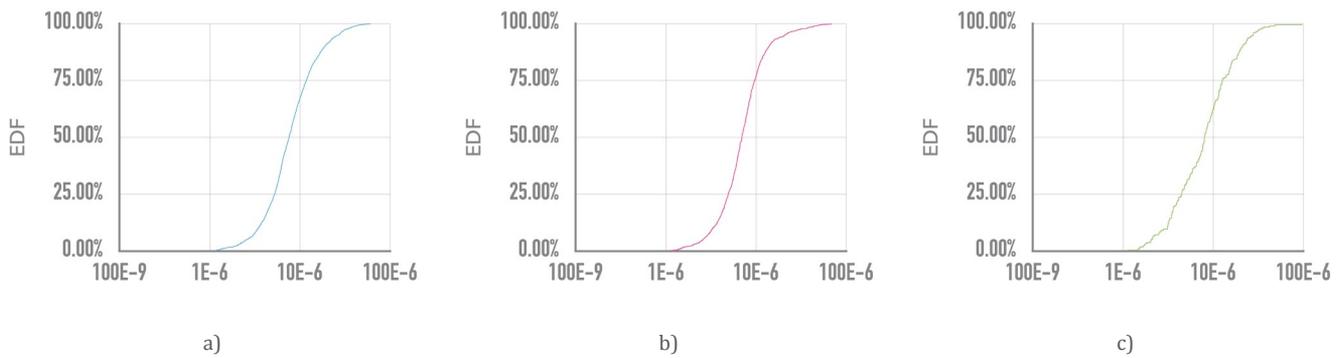


Figura 4. Distribuciones acumulativas empíricas del aerosol de agua destilada y etanol: a) 10% etanol, b) 20% etanol y c) 30% etanol

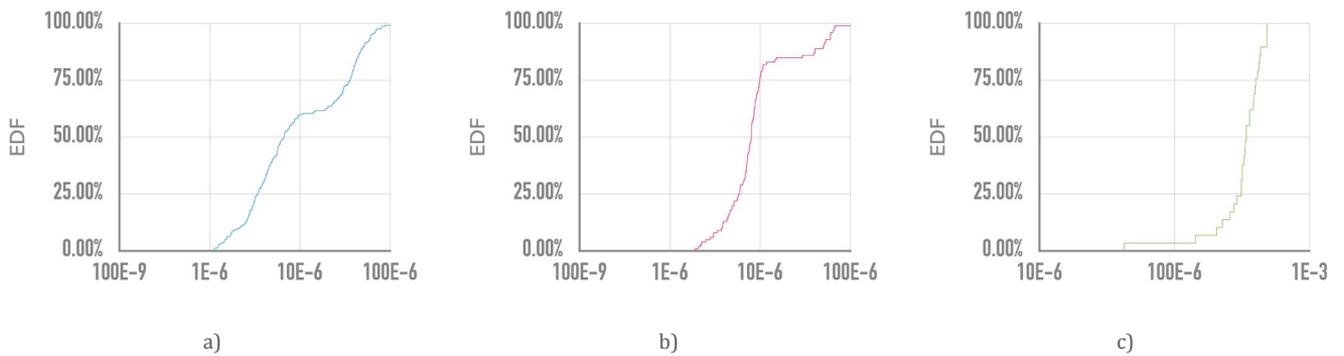


Figura 5. Distribuciones acumulativas empíricas del aerosol de agua destilada y glicerol: a) 15% etanol, b) 30% etanol y c) 50% etanol

Conclusiones

Al incrementar el flujo volumétrico, las distribuciones de tamaños de gotas tienden a sesgarse a gotas de mayores tamaños, lo mismo ocurre cuando incrementa la viscosidad o la tensión superficial del fluido. Para comprender mejor el proceso de atomización y la relación de los parámetros de atomización con la pulverización obtenida, en el futuro, se realizarán más pruebas con diferentes fluidos, gastos volumétricos y frecuencias.

La fineza de los aerosoles obtenidos mediante el proceso de atomización ultrasónica es adecuada para atomizar biodiesel, el cual, se caracteriza por una elevada viscosidad y tensión superficial, de forma que se obtenga una combustión completa y estable en un motor de combustión interna, por ello, el siguiente paso en la investigación es el diseño de un atomizador para biocombustibles. |

Referencias

- Khattab, Ibrahim Sadek.; Farzana Bandarkar.; Mohammad Amin Abolghassemi Fakhree y Abolghasem Jouyban. 2012. «Density, viscosity, and surface tension of water+ethanol mixtures from 293 to 323K.» *Korean Journal of Chemical Engineering* 29: 812–817.
- Lefebvre, Arthur H. y Vincent G. McDonell. 2017. *Atomization and Sprays*. 2º. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Müller, H. W.; R. Friedrich y D. Papathanassiou. 1998. «Theoretical and Experimental Investigations of the Faraday Instability.» En *Evolution of Spontaneous Structures in Dissipative Continuous Systems*, de Friedrich H. Busse y Stefan C. Müller, 230-265. Berlin: Springer.

- Reif, Konrad. 2015. *Gasoline Engine Management: Systems and Components*. Springer Vieweg.
- Takamura, Koichi; Herbert Fischer y Norman R. Morrow. 2012. «Physical properties of aqueous glycerol solutions.» *Journal of Petroleum Science and Engineering* 98-99: 50-60.
- Tate, R. W. 1961. «Immersion Sampling of Spray Droplets.» *A. I. Ch. E. Journal* 7 (4): 574-577.