

# Determinación del campo de velocidad de un tanque agitado utilizando velocimetría por imágenes de partículas

González Neria Israel<sup>1\*</sup>, Martínez Delgadillo A. Sergio<sup>1</sup>, Alonzo García Alejandro<sup>2</sup>, Mendoza Escamilla Víctor X.<sup>3</sup>, Yáñez Varela J. Antonio<sup>1</sup>, Rivadeneyra Romero, Gabriela<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias Básicas. Av. San Pablo 180, Azcapotzalco, Ciudad de México. C.P. 02200. México.

<sup>2</sup>CONACyT-Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial. Av. Playa pie de la cuesta 702, Desarrollo San Pablo, Querétaro. C.P. 76125. México.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Electrónica. Av. San Pablo 180, Azcapotzalco, Ciudad de México. C.P. 02200. México.

<sup>4</sup>Universidad del Istmo, Departamento de Ingeniería de Petróleos. Ciudad Universitaria S/N, Barrio Santa Cruz, 4a. Sección, Tehuantepec C.P. 70760. México.

\* Autor para correspondencia: isrgonner@gmail.com

**Recibido:**  
03/junio/2018

**Aceptado:**  
09/septiembre/2018

**Palabras clave:**  
Velocimetría por imágenes de partículas, tanque de agitación, campo de velocidades.

**Keywords:**  
Particle image velocimetry, stirred tank, velocity field.

## RESUMEN

Los tanques de agitación se utilizan para una gran variedad de procesos industriales, por lo cual es importante conocer el comportamiento del flujo que se encuentra en su interior. En el presente trabajo se obtuvo el campo de velocidades en la zona cercana al impulsor, debido a que es ahí donde se transfiere la energía mecánica y es convertida en energía cinética, la cual se manifiesta como un incremento de la velocidad del flujo. Para tal efecto se utilizó la técnica de velocimetría por imágenes de partículas, con la cual se obtuvo la variación del flujo para diferentes planos, permitiendo ver el comportamiento de la velocidad axial, radial y de la magnitud de la velocidad como consecuencia del movimiento del impulsor.

## ABSTRACT

The stirred tanks are used for a variety of industrial processes, so it is important to know the behavior of the flow that is inside of it. In the present work, the velocity field was obtained in the area near the impeller, because in this zone the mechanical energy is transferred and converted into kinetic energy, which manifests itself as an increase in the velocity of the flow. For this purpose, the particle image velocimetry technique was used, to obtain the flow variation for different planes, it allows to see the behavior of the axial, radial and the magnitude of the velocity because of the movement of the impeller.

## Introducción

El tanque de agitación es uno de los dispositivos más utilizados dentro de la ingeniería de procesos, debido a su gran versatilidad para transformar la materia prima en un producto con determinadas características. Una de sus tantas aplicaciones es el tratamiento de aguas residuales, siendo de gran importancia si se toma en cuenta que año con año se incrementa la contaminación de este recurso no renovable, como consecuencia de su uso doméstico e industrial. En este sentido el tanque de agitación se utiliza con el fin de remover aquellos compuestos que provocan que el agua ya no pueda ser utilizada nuevamente.

En el laboratorio de procesos en sistemas acuosos de la UAM Azcapotzalco, se han concentrado diferentes esfuerzos para el tratamiento de aguas residuales. Para la remoción de Cr (VI) (Yáñez et al., 2018) aplicó un tratamiento electroquímico, en el cual introdujo diferentes configuraciones de electrodos dentro de un tanque de agitación. Por otra parte, se realizó un tratamiento ultrasónico para la remoción de contaminantes en medios acuosos (Rivadeneira et al., 2018). En tanto que (Rodríguez et al., 2016) realizó la evaluación del uso de una turbina de alabes inclinados, para mejorar la hidrodinámica en el tratamiento de Cr (VI).

Se observa que la hidrodinámica del fluido es un factor importante dentro del tratamiento de aguas residuales, permitiendo incrementar la eficiencia del proceso si se entiende la forma en la que lo afecta. Por esta razón el presente trabajo se centró en estudiar la velocidad que se presenta dentro de un tanque de mezclado debido al movimiento periódico de un impulsor.

## Metodología

### Condiciones de operación

En el presente trabajo se utilizó un tanque de acrílico de 2 mm de espesor. El diámetro interior es de  $T = 25$  cm y cuenta con cuatro deflectores colocados de forma equidistante en su interior, con un espesor de 3.5 mm y 2.5 cm de ancho, figura 1. El impulsor que se utilizó es una turbina de cuatro alabes inclinados a  $45^\circ$ , la cual tiene un diámetro de  $D = 8$  cm y un espesor de 1.5 mm, figura 2. El impulsor se colocó a una altura del fondo del tanque de 8.3 cm, con la intención de obtener un solo patrón de recirculación (Mao et al., 1997).

La altura del fluido dentro del tanque es de  $H=T$ . Debido a la refracción del haz de luz que se utiliza para las mediciones, el tanque tiene que ser sumergido dentro de un cubo que se llena con el mismo fluido y a la misma altura. La velocidad de rotación fue de 500 rpm, siendo controlada por medio de un motor donde se coloca el eje del impulsor. El fluido de trabajo es agua con una densidad de  $998.2 \text{ kg/m}^3$  y una densidad dinámica de  $0.001003 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ . El flujo dentro del tanque es totalmente turbulento, teniendo un  $Re \approx 52\ 000$ .

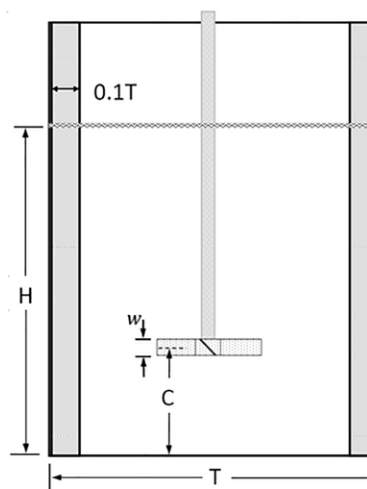


Figura 1. Diagrama del tanque de agitación.

### Arreglo experimental

Se utilizó un sistema bidimensional de velocimetría por imágenes de partículas, para medir el campo de velocidades dentro del tanque de agitación. El sistema está conformado por un láser Nd:YAG que genera pulsos de 75 mJ con una longitud de onda de 532 nm. La cámara de alta velocidad tiene una resolución de  $2360 \times 1776$  pixeles, figura 3.

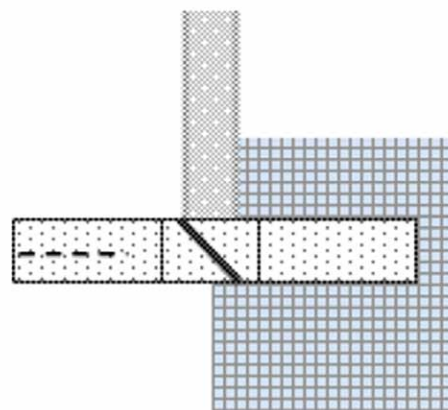


Figura 2. Impulsor y zona de medición.

Se tiene un arreglo óptico que transforma el punto del haz de luz en un plano de aproximadamente 1 mm de espesor, con el cual se ilumina la zona de medición. Las partículas trazadoras que se utilizaron fueron esferas de vidrio recubiertas de plata, con un diámetro alrededor de los 10  $\mu\text{m}$  y una densidad aproximada de 1015  $\text{kg}/\text{m}^3$ . El sistema se sincronizó con el movimiento del impulsor, dando oportunidad de elegir el ángulo del plano con respecto al impulsor ( $\theta$ ), figura 3. Lo cual permitió medir en 18 planos diferentes, con una variación de  $\Delta\theta = 5^\circ$ , donde  $\theta_{\text{inicial}} = 0^\circ$  corresponde al plano que intercepta al alabe por la mitad.

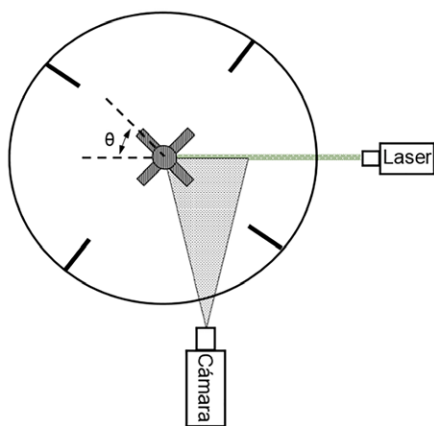


Figura 3. Arreglo experimental.

El método de velocimetría se basa en la comparación de un par de imágenes, por lo cual se estableció que el tiempo entre cada una fuera de 100  $\mu\text{s}$ , utilizando el algoritmo recursivo de Nyquist para el análisis. Cabe mencionar que para cada plano se tomaron 400 pares de imágenes, de los cuales se obtiene 15 914 puntos con los valores del campo de velocidades.

### Resultados y discusión

En las siguientes imágenes se presentarán los contornos de las componentes de velocidad axial, radial y de la magnitud de la velocidad. Cabe mencionar que todas las magnitudes se presentan de forma adimensional, teniendo que para las componentes y la magnitud de la velocidad se utilizó la velocidad que se presenta en la punta del impulsor. Sumado a lo anterior, el contorno de la esquina superior izquierda representa el plano cuando  $\theta = 0^\circ$  y el contorno que se encuentra debajo es el plano a  $\theta = 5^\circ$ , y así sucesivamente por lo cual en la parte superior de la esquina derecha corresponde a un valor de  $\theta = 45^\circ$ .

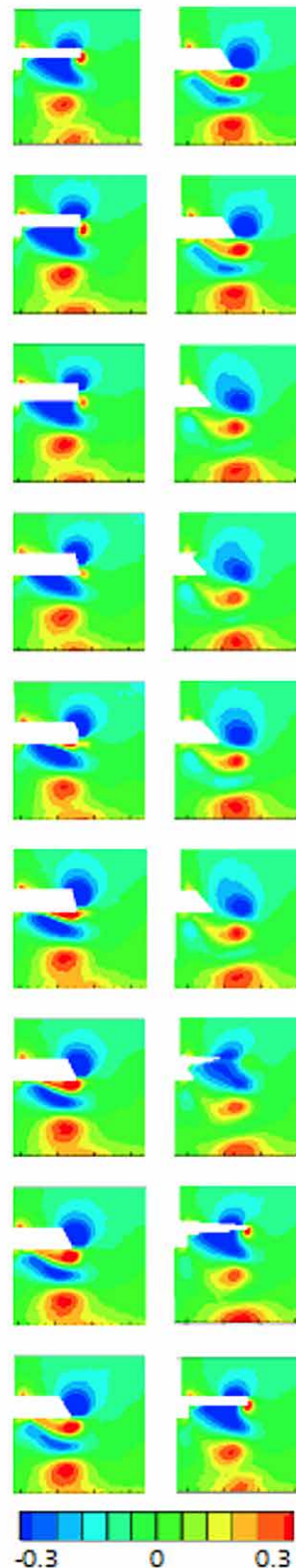


Figura 4. Componente radial de la velocidad.

### Velocidad radial

En la figura 4 se presentan los contornos de los diferentes planos para la velocidad radial. Donde se observa que para  $\theta = 0^\circ$ , se presenta un área muy bien definida en la zona que rodea al impulsor, la cual indica que el flujo está siendo re-direccionado hacia la parte central del tanque, tanto en la parte de succión como en la de bombeo. Conforme el alabe del impulsor sigue girando, se observa que esta zona se va dividiendo en dos y que incluso se empieza a formar una con sentido contrario a estas, la cual tiende a sustituir a aquella que en un principio se encontraba por debajo del impulsor. Este cambio de dirección en la zona que rodea al impulsor se debe al vórtice que estos generan y los cuales se desprenden formando una estela en esta zona.

### Velocidad axial

En la figura 5 se presentan los contornos de la velocidad axial, en los cuales se puede observar que el flujo es bombeado hacia abajo y que los valores de la velocidad son mayores a los de la velocidad radial, esto se debe a que el impulsor que se utilizó es de flujo axial, por lo tanto, se esperaba que la componente predominante sea la axial, caso contrario de lo que pasa al utilizar impulsores de flujo radial. Sumado a esto, también se observa que en la punta del impulsor se genera una pequeña zona con un sentido contrario al antes mencionado, el cual conforme el impulsor va girando tiende a desprenderse, alrededor de  $\theta = 35^\circ$ , por su parte la zona que se mencionó en un principio tiende a desplazarse de la zona central hacia la punta del impulsor. Por otra parte, se observa que estas dos zonas si bien sufren modificaciones con el movimiento del impulsor, ninguna de las dos desaparece, como en el caso de la velocidad radial.

### Magnitud de la velocidad

En la figura 6 se muestran los contornos de la magnitud de la velocidad. En los cuales se observa que el incremento de la velocidad se concentra en la zona que rodea al impulsor y en mayor medida en la zona que está por debajo de este. Por otra parte, se observa que la zona que se ve influida por este incremento se va reduciendo conforme el impulsor va girando y que a partir de  $\theta = 30^\circ$ , esta zona vuelve resurgir y poco a poco va creciendo hasta llegar a su punto máximo en  $\theta = 5^\circ$ .

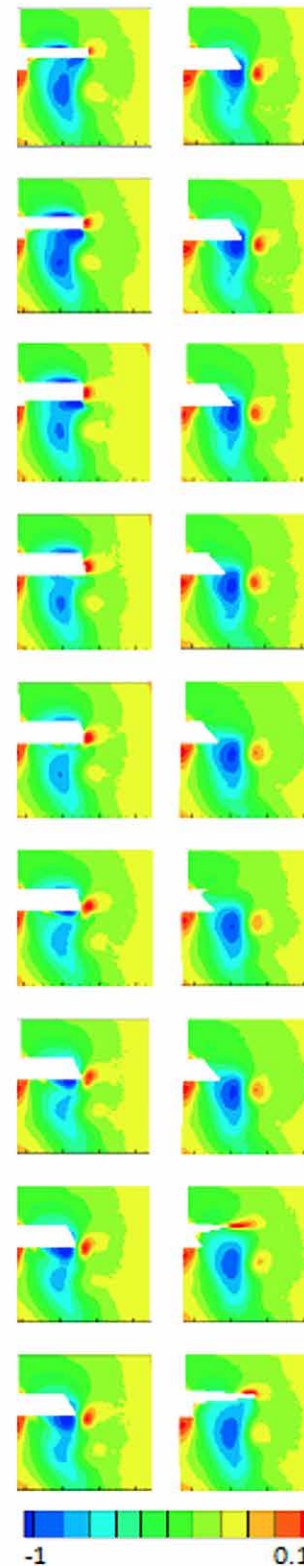


Figura 5. Compomente axial de la velocidad.



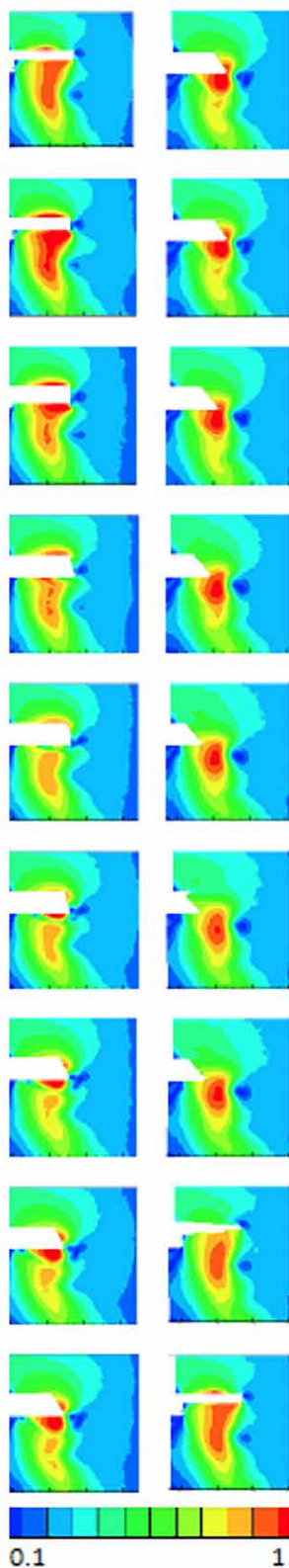


Figura 6. Magnitud de la velocidad.

### Conclusiones

En el presente trabajo se obtuvieron las variaciones de las componentes de la velocidad y de su magnitud, debido al movimiento de una turbina de alabes inclinados. Donde se observó que tanto el incremento de la velocidad axial, radial y de la magnitud se concentra en una pequeña zona que rodea al impulsor; más aún, se puede decir que la zona con mayores gradientes de velocidad axial y de la magnitud de la velocidad, se presentan a partir de la parte central y llegan hasta la punta del impulsor. Con base en lo antes mencionado se concluye que la zona más cercana al impulsor presenta una mayor variación del campo de velocidades, debido a que este es el encargado de transferir la energía mecánica del motor al fluido que se encuentra dentro del tanque de agitación.

### Agradecimientos

Se agradecen todos los comentarios y apoyos que brindaron cada uno de los colaboradores, así como a la UAM Azcapotzalco.

### Referencias

Mao D., Feng L., Wang K.A.I., Li Y. (1997). The mean flow field generated by a pitched blade turbine: Changes in the circulation pattern due to impeller geometry. *Can. J. Chem. Eng.*, 75: 307-316.

Rivadeneira Romero G., Gutierrez Torres C. C., Martinez Delgadillo S. A., Mendoza Escamilla V. X., Alonzo Garcia A. (2018). Assessment of the Performance of the Sonoreactors Operated at Different Ultrasound Frequencies, to Remove Pollutants from Aqueous Media. *International Journal of Energy and Power Engineering*, 12.

Rodríguez Arias Y., Alonzo García A., Mendoza Escamilla V. X., Gutiérrez Torres C. C., Jiménez Bernal J. A. Mollinedo H., Martínez Delgadillo S. (2016). Evaluation of the Effect of Pitched Blade Impellers on the Performance of an Electrochemical Reactor. *Int. J. Electrochem.*, 11: 9839-9854.

Yáñez Varela J. A., Mendoza Escamilla V. X., Alonzo Garcia A., Martinez Delgadillo S. A., Gonzalez Neria I., Gutiérrez Torres C. (2018). CFD and experimental validation of an electrochemical reactor electrode design for Cr(VI) removal. *Chemical Engineering Journal*, 349: 119-129.