

# ANÁLISIS DE LA HIDRODINÁMICA DE FLUIDOS EN TANQUES AGITADOS

Rodríguez Mosqueda Julio César (1), Luviano Ortiz José Luis (2), Vargas Vázquez José Carlos (3)

1 [Licenciatura en Ingeniería Mecánica | Dirección de correo electrónico: rodriguez.julio.cesar@hotmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingeniería Campus Irapuato - Salamanca, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: luisluviano@gmail.com]

3 [Licenciatura en Ingeniería Mecánica | Dirección de correo electrónico: jose.vargasvazquez@hotmail.com]

## Resumen

En este trabajo se presentan los resultados comparativos del análisis numérico fluidodinámico en dos tanques agitados con diferentes turbinas, en las cuales se analiza la agitación de un fluido Newtoniano bajo un régimen laminar ( $Re = 8.64$ ). El objetivo de este trabajo es analizar la dinámica del fluido agitado la cual es estimulado mediante un impulsor en cada caso. Para llevar a cabo el análisis comparativo se utilizaron un par impulsores con carga radial y concéntricos, los cuales son un impulsor sencillo y un impulsor propuesto basado en el impulsor sencillo. En el estudio se reporta mediante gráficas y mapas vectoriales bidimensionales la velocidad y la posición de partículas del comportamiento hidrodinámico generado en los tanques agitados quela turbina con paletas a  $30^\circ$  con respecto a la vertical genera más caos que la turbina tradicional Ruston.

## Abstract

The comparative results in the fluid-dynamic numerical analysis of stirred vessels in which the agitation of a Newtonian fluid under a laminar regime is analyzed ( $Re = 8.64$ ). The objective of this work is to analyze the dynamics of the agitated fluid which is stimulated by an impeller in each case. To carry out the comparative analysis, a pair of radially charged and concentric thrusters were used, which are a simple impeller and a proposed impeller based on the simple impeller. In the study, the velocity and the position of particles of the hydrodynamic behavior generated in the agitated tanks are reported by means of graphs and two-dimensional vector maps. The turbine with blades at  $30^\circ$  with respect to the vertical generates more chaos than the traditional Ruston turbine.

### Palabras Clave

Agitación de Fluido, Mezclado de Fluido, Tanques Agitados, Turbinas Rushton, Dinámica de Fluidos.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, la agitación y mezclado en los tanques agitados tiene un fuerte impacto en la industria, dado que las operaciones son usadas en gran variedad de propósitos como industrias farmacéuticas, de pintura, pulpa y papel, químicas, en el tratamiento de aguas residuales, nanotecnología, de alimentos, de fermentación, de cosméticos e incluso en medicina regenerativa entre otros [1,2].

Estos tanques tienen como función agitar, mezclar y homogenizar materiales, dispersar de gases en líquidos, o incluso, acelerar la transferencia de calor y masa [2,3].

A pesar de la gran manifestación de los tanques agitados para el mezclado que se demanda en las industrias anteriormente mencionadas, no se cuenta con un vasto conocimiento de manera científica por lo que el conocimiento en su mayoría ha sido obtenido de manera empírica y experimental. Por ello, es importante incrementar el conocimiento de manera científica ya que de esto permitirá obtener mayores eficiencias en los procesos de agitación y mezclado a fin de disminuir el consumo energético que se requiere para el proceso, lo cual permitirá a su vez reducir las mermas y aumentar la producción.

Para analizar el comportamiento hidrodinámico de un fluido en tanques agitados existen dos técnicas científicas, una de ellas es de manera experimental como la realizada por P. MAVROS et al. [4] quienes explican algunas de las técnicas para la medición y análisis del comportamiento de un fluido. Su trabajo divide estas técnicas en dos partes, la primera Single-Point Techniques y la segunda Ensemble Measurements donde en esta última explica una técnica actualmente muy utilizada en el estudio de tanques agitados la cual es la Velocimetría de Imágenes por Partículas (PIV, por sus siglas en inglés). Otra de las técnicas de análisis científico para el estudio y predicción del comportamiento se presenta a través de la solución de métodos numéricos.

En base a lo anterior, este trabajo consistió en la simulación numérica computacional (CFD, por sus siglas en inglés) de la agitación de fluidos en tanques agitados en donde se usó una turbina diferente para cada caso, esto con la finalidad de analizar la dinámica del fluido agitado para cada turbina implementada. La primera turbina analizada corresponde a la turbina tradicional Rushton [1], mientras que la segunda turbina analizada fue una modificación a la turbina Rushton.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Como anteriormente se mencionó, este trabajo consistió en realizar un análisis numérico de la agitación de fluidos en un tanque agitado mediante una turbina en cada caso, así como la comparación hidrodinámica generada por cada turbina. Para ello, se usó glicerol como fluido de trabajo [1].

Para llevar a cabo el análisis numérico se requirió la implementación de CFD, la cual implica que las propiedades locales del flujo son calculadas numéricamente. Ésta calcula el flujo tridimensional dentro de los reactores agitados resolviendo las ecuaciones de Continuidad (Ec. (1)) y Navier-Stokes (Ec. (2)) en cada una de las celdas en que se divide el volumen de reacción. La descomposición de Reynolds se implementa sobre las ecuaciones no lineales y se cierra el sistema de ecuaciones con los modelos de turbulencia [3].

$$\nabla \cdot \rho \vec{V} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{\nabla P}{\rho} + \nu \nabla^2 \mathbf{u} \quad (2)$$

Aunado a lo anterior, se utilizaron como referencia las propiedades de D.J. Lamberto *et al.* [1] y se resolvió para una velocidad laminar y fluido newtoniano. En función al número de Reynolds igual a  $Re = 8.64$  se encontró la velocidad angular en revoluciones por minuto Ec. (3).

$$Re = \frac{\rho N_{\text{rps}} D_i^2}{\mu} \quad (3)$$

En la Tabla 1 se muestran las magnitudes de la turbina mientras que la IMAGEN 1 se muestra un esquema representativo de la turbina con sus respectivos parámetros

Tabla 1: Dimensiones de la turbina.

Parámetro	Valor Asignado
$H$ : altura del eje impulsor	15.3 mm
$r$ : radio del eje impulsor	3.9 mm
$R$ : radio del impulsor	38.1 mm
$L$ : longitud de paleta	25.0 mm
$A$ : altura de paleta	14.6 mm
$W$ : espesor de paleta	7.0 mm

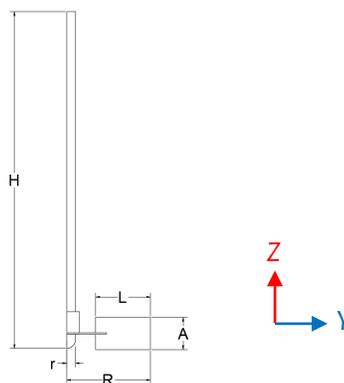


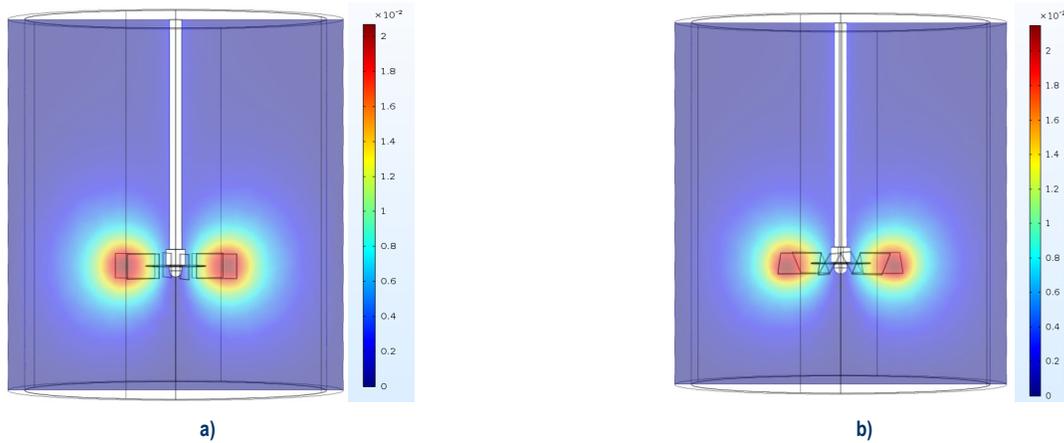
IMAGEN 1: Parametrización de Impulsor

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

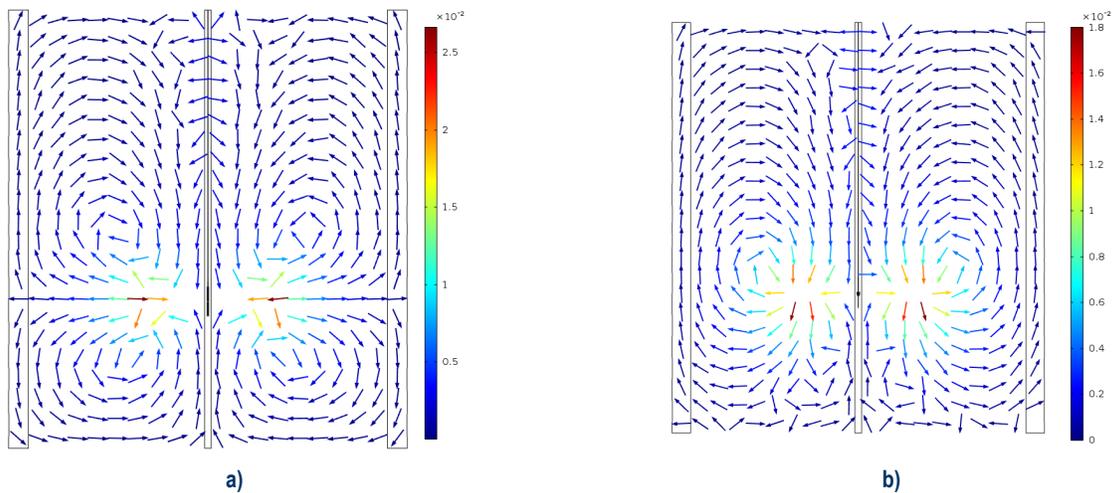
Como se mencionó anteriormente, en este trabajo se analizó y comparó la agitación de un fluido a través de usar dos turbinas diferentes, una para cada caso. La primera turbina fue la turbina implementada por D.J. Lamberto *et al.* [1] la cual tiene como característica que sus paletas están ubicadas a  $90^\circ$  con respecto al plano XY. La segunda turbina usada en este trabajo consistió en hacer una variación a la primera turbina y consistió en inclinarlas  $60^\circ$  con respecto a la horizontal.

En la IMAGEN 2 se muestran los contornos de velocidad de ambos impulsores. En esta imagen no es posible realizar una comparación a simple vista ya que los resultados son muy similares entre sí. Sin embargo, en esta imagen se puede apreciar que la velocidad mayor para ambos casos se tiene en los extremos de las paletas de ambas turbinas, esto era de esperarse ya que es el lugar donde la turbina tiene su mayor velocidad.

En la IMAGEN 3 se muestra el campo vectorial de velocidades para cada turbina en el tiempo  $t = 900$  s. En la IMAGEN 3 (a) se observa que hay dos vórtices los cuales tienen forma de toroides debido a que el tanque tiene una geometría cilíndrica, cabe señalar que estos vórtices se mantienen constantes a lo largo del tiempo. Por otra parte, en la IMAGEN 3 (b) se muestra que el haber inclinado las paletas  $30^\circ$  con respecto a la vertical sólo se tienen un vórtice en forma de toroide, a diferencia de la IMAGEN 3, en esta imagen se observa que en la parte inferior del impulsor los vectores tienen un movimiento aleatorio y por lo tanto más caótico, lo cual favorece a que las moléculas se mezclen más fácilmente entre sí.

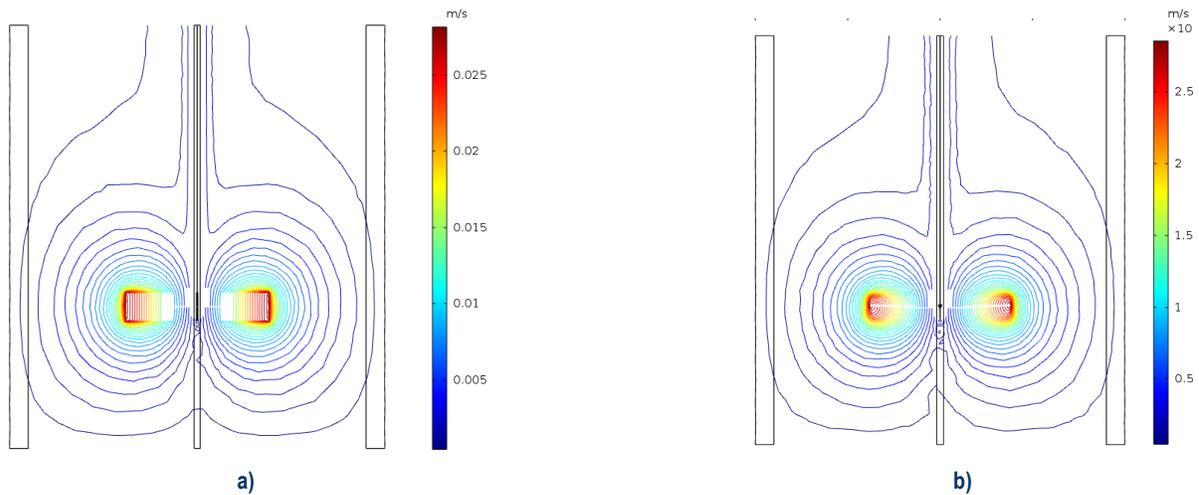


**IMAGEN 2:** Contornos de velocidades de a) Impulsor de paletas con inclinación a 90° y b) Impulsor de paletas con inclinación a 60°, unidades en [m/s].



**IMAGEN 3:** Campo vectorial de velocidad de a) Impulsor de paletas con inclinación a 90° y b) Impulsor de paletas con inclinación a 60°, unidades en [m/s].

En la IMAGEN 4 se muestra las líneas de corriente para ambas turbinas. En la IMAGEN 4 (b) se observa que la tendencia que siguen las líneas de corriente es circular en comparación con la IMAGEN 4 (a) en la cual se aprecia que las líneas de corriente tienden a alargarse formando óvalos, lo cual se debe a la presencia de vórtices.



**IMAGEN 4:** líneas de corriente de a) Impulsor de paletas con inclinación a 90° y b) Impulsor de paletas con inclinación a 60°, unidades en [m/s].

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos al implementar la turbina con las paletas inclinadas se consideran favorables ya que el objetivo era el generar un mayor desorden en la dinámica del fluido, esto es indispensable pues el objetivo es lograr la agitación y el mezclado en el menor tiempo posible. Aunado a esto, el haber implementado una inclinación a las paletas de la turbina usada por D.J. Lamberto *et al.* [1] se obtuvo un solo vórtice en forma de toroide, lo cual generó a su vez que el fluido tuviera un comportamiento un poco más caótico en la parte inferior del tanque.

En base a lo anterior, este trabajo muestra que es indispensable continuar con la investigación de nuevas propuestas de turbinas para agitar o mezclar, ya que esto tiene aplicaciones potenciales por lo que es necesario reducir el consumo energético en este proceso.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia y amigos por todo el apoyo recibido. Al igual agradezco a mis asesores, Dr. J. Luis Luviano O. y Dr. Abel Hernández G. por su tiempo y la oportunidad de formar parte del equipo de investigación. De igual forma agradezco a Veranos UG por darme la oportunidad de participar. De igual forma, agradezco a J. Carlos Vargas V. por su ayuda y asesoría en este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] D.J. Lamberto, M.M. Alvarez, F.J. Muzzio (1999). Experimental and computational investigation of the laminar flow structure in a stirred tank. *Chemical Engineering Science*, 54, 919 - 942.
- [2] A. Hidalgo-Millán, B. Taboada, L. Vega-Alvarado, R. Zenit, Gabriel Ascanio (2012). Enhancement of laminar mixing in stirred vessel using geometrical perturbations. *Journal of applied research and technology*, 10, 510 - 534.
- [3] D. García-Cortés, U. Jáuregui-Haza (2006). Hidrodinámica en tanques agitados con turbinas de disco con paletas planas. *Revista Facultad de Ingeniería*, 38, 97-113.
- [4] P. MAVROS (2001), Flow visualization in stirred vessels. *Institution of Chemical Engineers*, 79, 113 – 127.

