

SIMULACIÓN NUMÉRICA CON CFD DEL PROCESO DE MEZCLADO PARA UNA SOLUCIÓN AGUA-ETANOL AL 50% UTILIZANDO AGITADORES DE PROXIMIDAD

CFD numerical simulation of the mixing process for a 50% water-ethanol solution using proximity stirrers.

Alvarado Rodríguez Carlos Enrique, Ramírez Minguela José de Jesús, Hernández Rivera María Soledad, Medina Elizarraraz Karen Guadalupe, Domínguez Gómez María José.

ce.alvarado@ugto.mx

RESUMEN

En este trabajo se analizó mediante técnicas de CFD el proceso de mezclado para una solución 50% agua y 50% etanol en un tanque de medio litro a un número de Reynolds de 10000 utilizando tres tipos de agitadores diferentes nombrados: doble ribbon, paravisc e híbrido. A partir de simulación numérica se obtuvieron perfiles de velocidad, densidad y sus gradientes dentro del tanque para comparar el movimiento y mezclado de cada agitador. La agitación se realizó en régimen turbulento con un número de Reynolds de 10000 simulando 2 minutos del proceso de mezclado. El agitador ribbon logró alcanzar un porcentaje de mezclado del 92.29% mientras que los agitadores paravisc e híbrido solo lograron un porcentaje de mezclado del 12.36% y 11.8% respectivamente. Los resultados ayudan a concluir que el agitador ribbon es el que mejor mezcla la solución bajo estas condiciones de operación.

INTRODUCCIÓN

Es importante para las industrias contar con agitadores eficientes, pues el trabajo realizado, ya sea agitar, mezclar y homogenizar materiales o materias primas, acelerar la transferencia de masa y calor, provoca un gasto elevado en el consumo energético (Rodríguez, et al., 2018). En este trabajo se utilizaron tres agitadores de proximidad para simular el proceso de mezclado de la solución: Doble Ribbon, Paravisc e híbrido. El agitador Doble Ribbon consiste en dos cintas helicoidales opuestas ajustadas en un eje, una de estas cintas tiene el trabajo de mover los materiales a mezclar en una sola dirección y la otra hace lo mismo que la anterior, sin embargo, lo hace en una dirección contraria, como consecuencia de estos movimientos los materiales que se mezclan adquieren una sola dirección (Londoño, 2019). Paravisc es un impulsor de proximidad que trabaja de manera eficiente con mezclas de alta viscosidad más, sin embargo, puede acoplarse a diferentes etapas del proceso con la posibilidad de cumplir una homogenización eficiente. El agitador híbrido es un diseño novedoso reportado por Alvarado-Rodríguez et al., (2023) donde se informa la eficiencia mejorada con respecto a otros agitadores de proximidad. La simulación por Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) es una herramienta valiosa para estudiar y optimizar procesos de mezcla, contribuyendo al desarrollo de procesos más eficientes (Yin, et al., 2022), estos estudios permiten comprender mejor los fenómenos de transporte de masa y energía. Por otra parte, la hidrodinámica de partículas suavizadas (SPH) es una técnica avanzada y versátil para la animación de fluidos de última generación, este método para la dinámica de partículas lagrangianas sin malla que transportan propiedades físicas rastreando sus trayectorias y cambios nos ofrece ventajas en el modelado de flujos complejos especialmente en grandes deformaciones y fenómenos en macro o meso escala, con la flexibilidad y capacidad de manejar geometrías y condiciones de contorno complejas.

En este proceso de mezclado se simula numéricamente mediante técnicas CFD con el método SPH para obtener una solución de agua-ethanol al 50% cada uno, partiendo de dos fases separadas. La finalidad de la investigación es generar una metodología para evaluar y analizar la hidrodinámica y procesos de mezcla en tanques agitados con agitadores de proximidad mediante simulaciones numéricas. Además, se realizó una comparación del proceso de mezcla al usar cada uno de los diseños de agitadores: Doble Ribbon, Paravisc e Híbrido.

METODOLOGÍA

En este trabajo se evaluó la concentración en un tanque de medio litro, para esto se utilizaron tres agitadores diferentes nombrados doble ribbon, paravisc e híbrido. El diseño de cada agitador se realizó mediante asistencia computacional (CAD) al igual que el diseño del tanque. En la Fig 1., se muestran los dibujos realizados en CAD de los tres diferentes agitadores.

Las simulaciones numéricas se realizaron utilizando el software DualSPHysics (Domínguez et al., 2023) el cual está basado en el método SPH. Las geometrías del tanque y agitadores generadas en CAD fueron importadas en el software DualSPHysics para generar las condiciones de contorno fijas y móviles en la simulación. El tanque se llenó al 70% de volumen, siendo 35% agua en el fondo y 35% etanol en la parte superior del líquido. Se consideró un proceso de mezclado isotérmico a 25°C. La distancia inicial entre partículas es de 1 mm generando un total de 270232 partículas fluidas y 187512 partículas contorno (tanque más agitador). La velocidad inicial de los líquidos es cero y se establece una condición de contorno de no deslizamiento en la superficie del tanque. La velocidad de agitación para los tres agitadores es de 33.9 rpm estableciendo un número de Reynolds de 10000. La velocidad inicial del agitador es cero y se acelera a 16.95 rpm durante 1 segundo hasta alcanzar la velocidad de agitación constante. Se simularon 2 minutos de tiempo de mezclado y se evaluó el porcentaje de mezclado en el tiempo, así como la velocidad promedio después de 1.5 minutos de agitación. Los parámetros de los fluidos utilizados en la simulación se muestran en la Tabla 1.

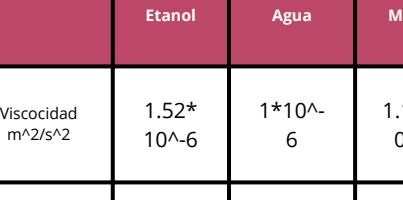


Fig 1. Dibujo en CAD de los tres diferentes agitadores, el inciso a muestra el dibujo en CAD del agitador ribbon; el inciso b muestra el dibujo en CAD del agitador Paravisc y finalmente el inciso c muestra el dibujo en CAD del agitador Híbrido.

	Etanol	Aqua	Mezcla
Viscosidad m^2/s^2	1.52* 10^-6	1*10^-6	1.17*1 0^-6
Densidad kg/m^3	789	1000	894.5

Tabla 1. Propiedades del agua, etanol y de la mezcla

RESULTADOS

Las simulaciones en ParaView indicaron que el agitador Doble Ribbon crea un flujo más homogéneo, distribuyendo tanto la velocidad como las estructuras de vorticidad de manera uniforme.

Las simulaciones mostraron que este agitador mejora la vorticidad y la divergencia, lo que facilita la combinación eficiente de los componentes del fluido. Con una mayor velocidad promedio, el Doble Ribbon asegura que el fluido se mezcle rápidamente reduciendo el tiempo, mientras que los gradientes bien distribuidos de este aseguran que las diferencias de concentración minimicen rápidamente, mejorando la uniformidad de la mezcla.

La capacidad del Doble Ribbon de generar un flujo bien distribuido evita zonas estancadas y asegura que todo volumen del fluido esté involucrado en el proceso de mezclado.

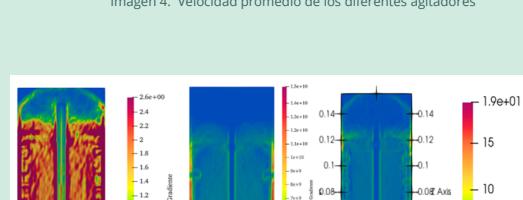


Imagen 4. Velocidad promedio de los diferentes agitadores

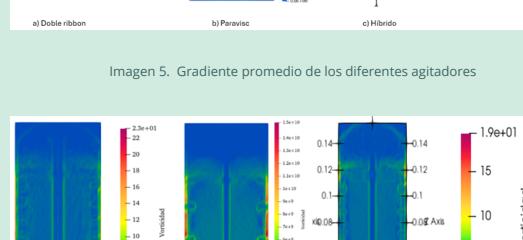


Imagen 5. Gradiente promedio de los diferentes agitadores



Imagen 6. Vorticidad promedio de los diferentes agitadores

CONCLUSIONES

Los experimentos se realizaron con una mezcla de 50% de agua y 50% de etanol. Los resultados obtenidos nos indican que el agitador Doble Ribbon tuvo un desempeño significativamente superior en comparación con el Paravisc y el híbrido, teniendo una eficiencia de mezcla del 92.29% en tan solo 96 segundos, este agitador demostró tener una capacidad de mezcla rápida y efectiva. Por otro lado, los agitadores paravisc e híbrido mostraron rendimientos mucho menores, con eficiencias de mezcla de 12.36 y 11.8 porciento respectivamente, con tiempos de operación superiores a los 119 segundos.

El agitador Doble Ribbon con su diseño de dos cintas entrelazadas,

proporcionó un flujo más uniforme y turbulento dentro del tanque, lo que facilitó que la mezcla fuera rápida y homogénea.

REFERENCIAS

- Rodríguez, J.C., Luviano, J.L. & Vargas, J.C. (2018). Análisis de la hidrodinámica de fluidos en tanques agitados. *JOVENES DE LA CIENCIA Revista de Divulgación Científica*, Vol. 4 (no. 1), 5(2), 3036. Recuperado de <http://repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/6728/1/An%C3%A1lisis%20de%20la%20hidrodin%C3%A1mica%20de%20fluidos%20en%20tanques%20agitados%20RODRIGUEZ%20MOSQUEDA.pdf>
- Yin, C., Zheng, K., He, J., Xiong, Y., Tian, Z., Lin, H., & Long, D. (2022). Turbulent CFD Simulation of Two Rotor-Stator Agitators for High Homogeneity and Liquid Level Stability in Stirred Tank. *Materials*, 15(23), 8563. <https://doi.org/10.3390/ma15238563>
- Londoño, J. (2019). Propuesta de mejora en la línea de vegetales para la empresa PANAMERICANA DE ALIMENTOS SAS, mediante un sistema automático para el transporte dosificación y mezcla de granos. *Tesis de licenciatura, INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO*. Repositorio Institucional ITM. https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/2080/Rep_itm_pre_Lon_d9c3%b1o.pdf?sequence=1&isAllowed=y