

ESTUDIO EXPERIMENTAL Y NUMÉRICO DE MEZCLADORES A DIFERENTES RÉGIMENES

MARTÍN SALINAS VÁZQUEZ

Con el fin de estudiar el comportamiento del flujo en mezcladores para mejorar el diseño en una gran gama de aplicaciones, se inició una colaboración entre los Institutos de Ingeniería, Ciencias Aplicadas y Tecnología, Investigaciones Biomédicas, Investigación de Materiales y Facultad de Ingeniería, todas dependencias de la UNAM.

Por parte del Instituto de Ingeniería participan la Coordinación de Ingeniería de Procesos Industriales y Ambientales, el equipo de Supercómputo y personal del Laboratorio de Costas y Puertos.

Este tema es de especial interés, pues beneficiará a procesos industriales y al conocimiento científico en diferentes campos de la industria petroquímica, alimenticia, farmacéutica y minera, entre otras.

Desde los inicios de la humanidad, el hombre tuvo necesidad de mezclar en un contenedor, un líquido con algún otro ingrediente (usando un palo para mezclar varias sustancias, para la preparación de alimentos y medicinas). A pesar de que esta actividad se remonta a mucho tiempo atrás, no existen estudios detallados sobre el tema. Sin embargo, hoy día surge la necesidad de comprender mejor el comportamiento del flujo en mezcladores, además de diseñar equipos que permitan optimizar los procesos disminuyendo la energía requerida para su funcionamiento.

Los mezcladores son dispositivos, principalmente, usados para unir dos o más fluidos en una sola sustancia homogénea. Es un equipo esencial en la industria, principalmente química, donde se le llama reactor; éste consiste en un contenedor de metal, vidrio o cerámica; un rotor motorizado con un eje al cual se le han integrado aspas con diferentes configuraciones y geometrías. Dependiendo del proceso industrial, se necesitarán diversos sistemas de medición (temperatura y ph), sistemas de alimentación de las sustancias a mezclar, así como de gases o nutrientes.

Antes de iniciar con el estudio, tuvimos que resolver los siguientes puntos:

- Desarrollo de herramientas numéricas para el estudio numérico de mezcladores multifásicos con superficie libre, en flujos laminar/turbulento y fluidos Newtonianos/no-Newtonianos.

- Diseño de nuevas geometrías de aspas que mejoren el mezclado.
- Estudio reológico de fluidos.
- Diseño y construcción de reactores con geometrías adecuadas para el óptimo mezclado en un proceso industrial dado.
- Diseño de sistemas de enfriamiento que eviten el funcionamiento del equipo en temperaturas que dañen el producto final y de la inyección de gases que algunas veces necesitan algunos procesos industriales.

En este artículo hablaremos de los mezcladores en régimen turbulento con superficie libre, del mezclado multifásico en presencia de un cultivo de microorganismos, así como del estudio numérico experimental del flujo en un mezclador planetario.

Estudio de mezcladores en régimen turbulento con superficie libre

Estos mezcladores son aquellos que están abiertos a la atmósfera, generalmente, se usan cuando se necesita que el aire circundante ingrese a la mezcla. Este trabajo es parte del doctorado del M. en I. Jorge Ramírez Cruz, quien se enfocó en el estudio numérico de un mezclador con superficie libre [2020, Chemical Engineering Science, Vol. 222]. Para tal motivo, desarrollamos un *software* que permite realizar este estudio. La configuración se muestra en la figura 1, donde se observa que a medida que se incrementa la velocidad del rotor, la superficie libre disminuye su altura alrededor del eje. Este comportamiento, a pesar de ser muy común en la cotidianidad (licuadoras o lavadoras), es un reto por la complejidad de su modelación en cualquier tipo de *software*, ya sea comercial o hecho en casa. Los resultados obtenidos numéricamente son muy similares a los medidos experimentalmente con lo que se comprueba la calidad de las simulaciones realizadas.

Este tipo de mezcladores (de superficie libre), generalmente trabajan en regímenes turbulentos, por lo que el estudio de la formación de estructuras turbulentas y su funcionamiento, es crucial para conocer el comportamiento de este mezclador; ya que de ellas depende la homogeneidad de la sustancia resultante. En la figura 2, se muestran los vórtices generados detrás de las aspas (*trailing vortex*) tras su movimiento, permitiendo conocer sus características generales.

Este trabajo nos ha permitido comprobar la capacidad del *software* desarrollado en la coordinación, para modelar de forma correcta el fenómeno, a partir de validar los resultados obtenidos con datos experimentales.

Estudio del mezclado multifásico en presencia de un cultivo de microorganismos

Este trabajo es parte del doctorado del M. en I. David Posadas Navarro, desarrollado de manera conjunta con el ICAT, el IIB-UNAM y en el Laboratorio de Costas y Puertos de la Coordinación de Hidráulica del IUNAM, donde se realizaron las mediciones experimentales de un cultivo de levaduras en un reactor con mezclado. El fenómeno se complica enormemente debido a que, las levaduras, son seres vivos, por tanto, necesitan oxígeno para respirar y glucosa para alimentarse.

En el mezclador debemos incrementar la temperatura y cambiar las características reológicas del fluido para que las levaduras se reproduzcan. A partir de lo anterior, se observa que ahora se trata de un estudio multifásico de un fluido no-Newtoniano.

El primer paso fue realizar el estudio experimental de fluidos ideales con diferentes características reológicas (viscosidad principalmente), similares a las que se encuentran en la realidad, con y sin inyección de aire [2020, Industrial & Engineering Chemistry Research, enviado]. Estos fluidos ideales se crearon con la mezcla de alginato de sodio y agua (1g por litro de agua). En la figura 3, se muestra el reactor construido en el ICAT, obsérvese que ahora se tienen tres turbinas en el eje. Igualmente, se probaron tres tipos de aspas, una de ellas diseñada en el ICAT.

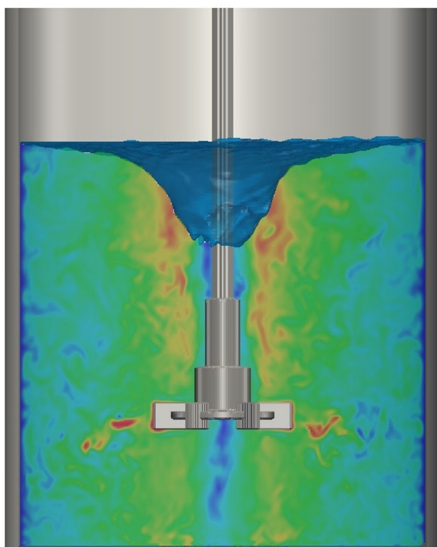


Figura 1. Superficie libre (azul) y contorno de velocidad

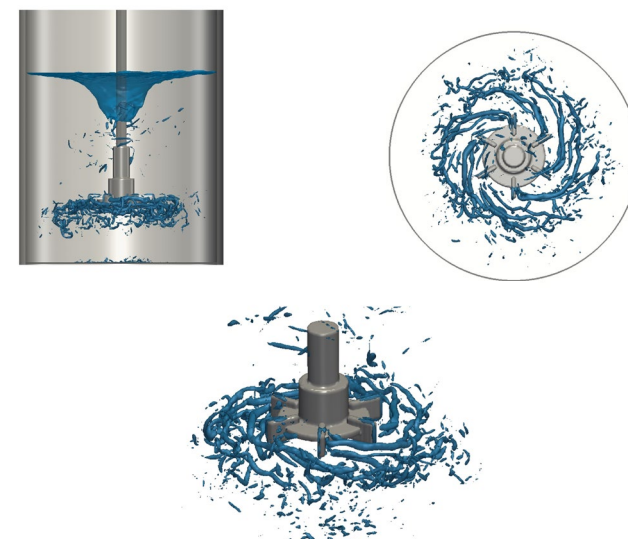


Figura 2. Estructuras Turbulentas generadas por el impulsor del mezclador

En la figura 4 se muestran algunos resultados, donde se observan las zonas de recirculación, de alta intensidad turbulenta y deformaciones para estas nuevas aspas con lo que podemos obtener un diseño óptimo para los cultivos de las levaduras estudiadas.

Actualmente, se está haciendo el estudio numérico bifásico, líquido/gas, con el *software* desarrollado en la coordinación con un modelo multifásico, como un punto intermedio antes de incluir también a los cultivos de levaduras. Cabe mencionar que este tipo de cultivos se utiliza en la generación de antibióticos.

Estudio numérico experimental del flujo en un mezclador planetario

Finalmente, se desarrolló el estudio numérico experimental [2020, Chemical Engineering Science, enviado] de un fluido laminar en un mezclador planetario. Para este caso, el reactor fue desarrollado y construido en el ICAT, las mediciones fueron realizadas en el IIM-UNAM y la Facultad de Ingeniería. Las simulaciones numéricas se realizaron con el *software* desarrollado en la coordinación.

Los mezcladores planetarios se utilizan para fluidos muy viscosos, en este caso, mieles con una viscosidad que puede ser hasta 2 o 3 mil veces la del agua, cuyos números de Reynolds son muy pequeños (alrededor de la unidad).

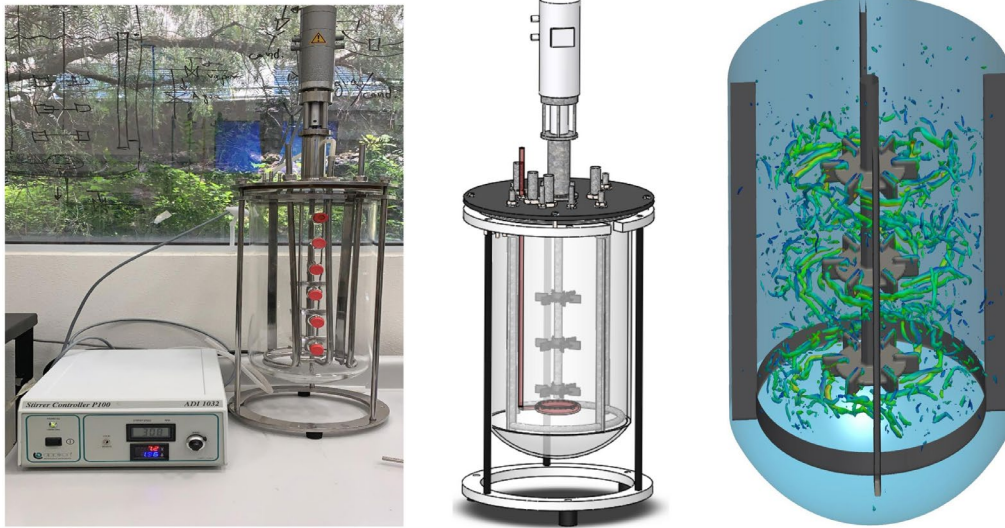


Figura 3. Reactor real y su contraparte numérica

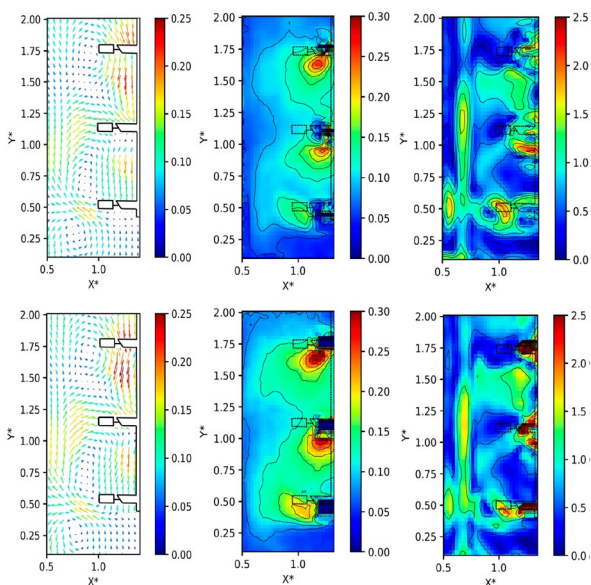


Figura 4. Campos de velocidad, intensidad turbulenta y magnitud de la deformación. Sin (arriba) y con (abajo) inyección de aire

La característica principal de este tipo de mezclado es la generación de un “amasado” muy similar al que se podría crear a mano. El reto de este mezclado recae principalmente en que no se forme ninguna zona muerta donde el fluido no se mueva, por tanto, que no se mezcle, así como disminuir el consumo de energía en el proceso, ya que el movimiento de las aspadas dentro de este fluido viscoso se traducirá en el aumento de la temperatura del fluido debido a la fricción. En la figura 5 se muestra el reactor, tanto físico para las mediciones experimentales, como el modelo digital usado para las simulaciones numéricas.

A partir de este estudio, se puede comprender mejor el comportamiento del flujo, las zonas de bombeo (movimiento vertical que propicia el mezclado), así como estudiar las zonas de alta disipación viscosa que ocasionan zonas de alta temperatura. Todo con el fin de obtener el diseño de un equipo óptimo que será de gran utilidad en la industria química o alimenticia, por ejemplo.

Estos trabajos han sido presentados en congresos internacionales, publicados en revistas, tesis de maestría y doctorado, así como proyectos patrocinados. En resumen, el tema del comportamiento de los flujos en los mezcladores es de mucho interés, pues presenta grandes beneficios para la industria. |

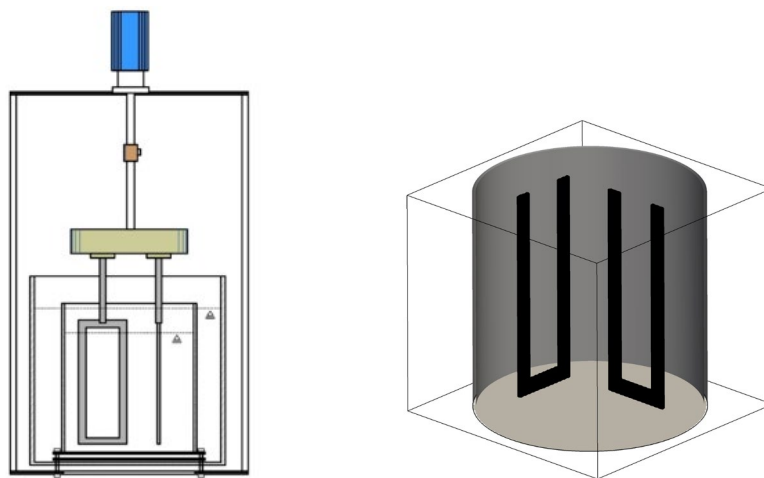


Figura 5. Configuración mezclador planetario. Configuración experimental (izquierda) y dibujo digital usado en las simulaciones numéricas (derecha)

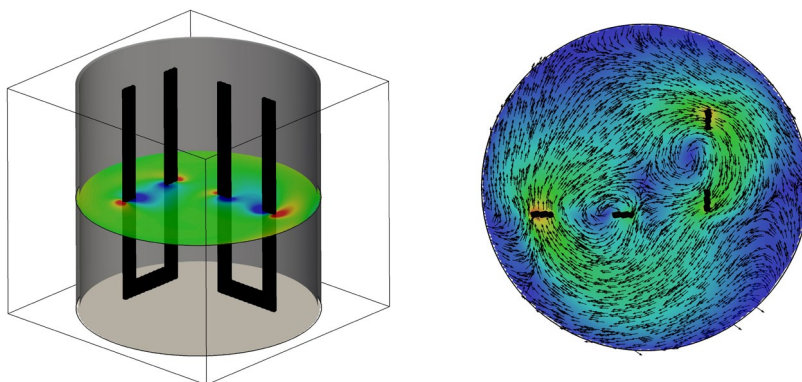


Figura 6. Resultados numéricos del movimiento de las paletas

Referencias

- [1] J. Ramírez-Cruz; M. Salinas-Vázquez; G. Ascanio; W. Vicente-Rodríguez y C. Lagarza-Cortes (2020). Mixing dynamics in an uncovered unbaffled stirred tank ana passive scalar transport equation. *Chemical Engineering Science*. 222. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115658>.
- [2] Posadas Navarro, David Israel; Palacios, Carlos; Zenit, Roberto; Blancas, Abel; Salinas-Vazquez Martin y Ascanio, Gabriel A. (2020). Hydrodynamic and mass transfer assessment of a bioreactor by means local and global parameters. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Enviado y bajo revisión.
- [3] J. Ramírez-Cruz; G. Ascanio; M. Salinas-Vázquez; C. Palacios y J. P. Aguayo. Experimental and numerical analysis of the power consumption and the dispersive mixing in a double planetary mixer. *Chemical Engineering Science*, Enviado.