

EVALUACIÓN HIDRODINÁMICA DE LA FORMA DEL FONDO EN TANQUES DE MEZCLA MECÁNICA MEDIANTE CFD

Angélica Salgado Ramos, Andrés Gómez-Giraldo y Gallego Suárez y Darío De Jesús

Departamento de Geociencias y Medio Ambiente,
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas,
Carrera 80 No 65-223, Medellín, Colombia.

E-mail: yasalgador@unal.edu.co, eagomezgi@unal.edu.co, dgallego@unal.edu.co.

Resumen

Los procesos de mezcla mecánica tienen amplia aplicabilidad en las áreas de química e ingeniería. A pesar de que el proceso de mezcla mecánica se ha estudiado, aún no se comprende completamente su comportamiento. En este estudio se evaluó el comportamiento hidrodinámico de un tanque de mezcla y su relación con el diseño del fondo mediante la dinámica de fluidos computacional. En el proceso de calibración se obtuvo un buen ajuste en los perfiles de la velocidad axial con un modelo transitorio y una malla combinada, donde el tamaño de los elementos corresponden aproximadamente al 2% del diámetro del tanque. El modelo que generó mejores resultados para resolver la superficie libre fue el VOF (*Volume of fluid*) implícito, el explícito presenta problemas en la convergencia. El modelo que mejor resolvió la turbulencia fue el $\kappa - \varepsilon$ estándar y, la rotación del impulsor se abordó con el método de SM (*Sliding Mesh*). Posteriormente, se evaluó el efecto de la forma del fondo en las variables hidrodinámicas. La forma geométrica del fondo que presenta menos zonas muertas en el fluido, es el fondo redondeado, y la que más presenta y no se recomienda construir es el fondo con esquinas redondeadas.

Palabras clave: Tanques de Mezcla Mecánica, Hidrodinámica, CFD, simulación numérica.

Dominio

La geometría seleccionada para el estudio (Figura 1) corresponde a un modelo físico reportado por Aubin et al., (Aubin, et al., 2004). Es un tanque de mezcla mecánica con un impulsor central de tipo turbina con seis hojas sencillas inclinadas a 45°. Este reactor tiene cuatro deflectores cada uno a 90° alrededor del perímetro de tanque. El diámetro del tanque [T] es de 190 mm y se conserva una relación de 1:1 para la altura del fluido [H = T], coincidiendo con el parámetro de diseño reportado por Romero Rajas (1995).

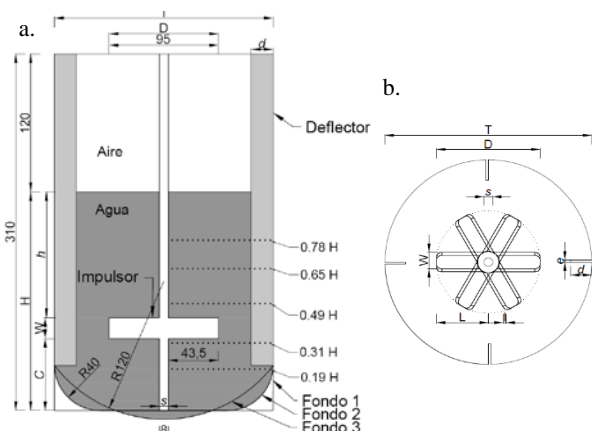


Figura 1.- Tanque de mezcla: vista transversal (a) y vista en planta (b).

El ancho [d] y el espesor [e] de los deflectores conservan una relación con el diámetro del tanque de 0.1 y 0.01 respectivamente. Dichos deflectores se extienden por toda la altura [H] del tanque. El diámetro del impulsor [D] y la distancia desde el fondo [C] conservan una relación de 0.5 y 0.33 respecto al diámetro del tanque, el eje del impulsor tiene

un diámetro de 8 mm y la velocidad de rotación es de 300 RPM. Los trayectos punteados sobre el tanque indican los perfiles de medición de las variables hidrodinámicas y en la parte inferior se señala la geometría de cada fondo experimentado, siendo el fondo 1 el plano, el fondo 2 el de esquinas redondeadas y el fondo 3 el completamente redondeado.

Modelo numérico

Para generar la geometría y la malla del tanque de mezcla mecánica se empleó el software ANSYSFLUENT v16.2. La malla en 3D combina zonas estructuradas y no estructuradas, dividiendo el dominio en celdas tetraédricas y hexaédricas. La calidad de la malla se evalúa mediante el criterio estadístico skewness (ANSYS-Inc, 2006). Las paredes del tanque, las pantallas deflectoras y la superficie del agitador se tratan como paredes estándar. Se utilizó la técnica de volúmenes finitos (ANSYS-Inc, 2006) para discretizar las ecuaciones de Navier-Stokes en ecuaciones algebraicas, con el fin de que sean resueltas numéricamente. Se define una pequeña capa de aire sobre la superficie del líquido, para que el modelo solucione la superficie libre. Se utilizó una discretización implícita y de primer orden para la integración del tiempo en estado transitorio, un esquema Upwind de segundo orden para las ecuaciones de momentum, la energía cinética turbulenta y la disipación turbulenta. Para el acople de la presión y la velocidad en las ecuaciones, se utilizó el algoritmo SIMPLE. Las propiedades utilizadas para la fase primaria [l] fueron: $\rho_q: 998,2 \text{ kg m}^{-3}$; $\mu_q: 0,001 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$; $\sigma: 0,072 \text{ Nm}$ y las del aire $\rho: 1.225$, $\mu: 1.7e^{-5}$.

El dominio de fluido se divide en dos regiones: una región interior que rodea el impulsor, y corresponde a la zona que está en movimiento; y una región exterior, que corresponde a la zona fija. El efecto de la zona móvil del impulsor se simuló con una malla deslizante y la condición de frontera corresponde a la velocidad de rotación de 300 RPS. Se creó una interface que une las dos regiones. La interface se encarga de transmitir la información a medida que el movimiento modifica la posición de los nodos y la conectividad de las caras de las celdas (Achouri, et al., 2014; ANSYS-Inc, 2006). En las superficies del tanque, el impulsor y su eje, la velocidad del fluido es cero o condición de no-deslizamiento (no-slip). Para la capa límite de la pared se usó la función de pared. El modelo se inicializó de forma híbrida (Hybrid Initialization); este tipo de inicialización se caracteriza porque resuelve la ecuación de Laplace para generar un campo de velocidad y presión que se ajusta a geometrías complejas; las variables como temperatura, turbulencia y VOF inician con valores promediados en el dominio que para este caso es de cero. Bajo esta técnica los parámetros turbulentos se inicializan con los valores por defecto, de $1 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ para la energía cinética turbulenta y $1 \text{ m}^2\text{s}^3$ para tasa de disipación turbulenta (ANSYS-Inc, 2006).

El error absoluto promedio entre los resultados del modelo y los datos experimentales es del 0.05 ms^{-1} , este corresponde aproximadamente a un 8% respecto a la magnitud máxima de la velocidad, lo que indica que el modelo predice adecuadamente las condiciones hidrodinámicas del flujo (Campo Kurmen, 2015).

Las mallas de cálculo, cuentan con un número total de elemento de 105087 para el fondo plano, 282309 para el fondo de

esquinas redondeadas y 314288 para el fondo completamente redondeado y un skewness máximo y promedio de 0.88 y 0.21, 0.88 y 0.22, 0.97 y 0.23, respectivamente.

Se empleó un criterio de convergencia de $10e^{-4}$ para todas las ecuaciones: continuidad, momento axial, radial y tangencial, energía cinética turbulenta, tasa de disipación viscosa y volumen de fracción del agua.

Resultados

Los perfiles radiales adimensionales de velocidad axial en diferentes secciones radiales se presentan en la Figura 2.

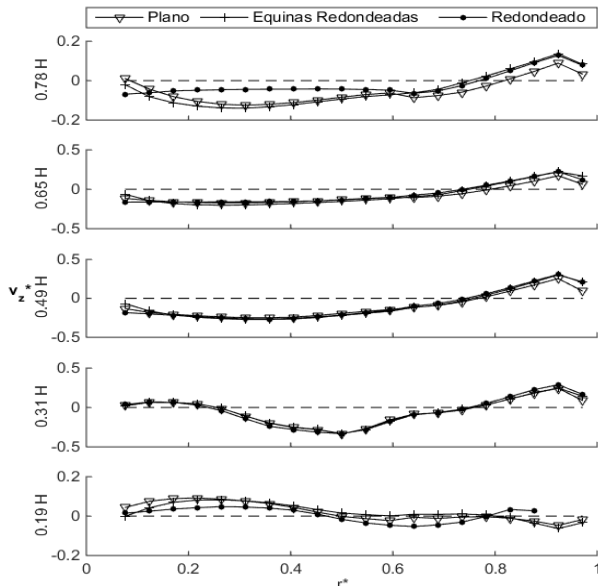


Figura 2.- Perfiles radiales de la velocidad axial para diferentes fondos.

Los valores de velocidad no presenta cambios significativos en las secciones 0.31, 0.49 y 0.65 H. En la sección 0.78 H que corresponde al perfil más cercano a la superficie presenta variaciones para el tanque de fondo redondeado, los valores de velocidad axial se amortiguan y se aproximan a cero, luego, cuando supera un valor de $r^* = 0.6$ el perfil adquiere la misma forma a la del perfil del fondo de esquinas redondeadas; el perfil del fondo de esquinas redondeadas presenta un comportamiento similar al perfil generado por el fondo plano hasta $r^* = 0.6$. El fondo plano, subestima los valores de velocidad axial cuando supera a $r^* = 0.6$. Por otro lado en la sección 0.19 H todos los experimentos presentan un comportamiento diferente; el perfil resultante del fondo plano se encuentra intermedio de los otros perfiles y presenta un comportamiento similar al perfil del fondo de esquinas redondeadas; por último, el perfil del fondo redondeado adquiere una magnitud de velocidad en dirección descendente superior a la de los demás fondos.

En la Figura 3 se presenta el campo de velocidad adimensional medio para las diferentes formas del fondo, para adimensionalizar la variable se usó la velocidad característica lineal del impulsor. Se observa que el flujo radial-axial del tanque con el fondo plano, alcanza a llegar hasta la superficie, sin embargo, presenta un flujo ascendente de baja magnitud en el área de las pantallas; así mismo, la magnitud del flujo en la esquina inferior es significativamente baja, esta zona presenta un comportamiento no ideal que le quita al tanque volumen efectivo para la mezcla. El fondo con esquinas redondeadas presenta una zona de estancamiento que se ubica justo en el centro inferior del tanque. Finalmente el fondo redondeado presenta una zona de menor magnitud de velocidad debajo del impulsor que converge en el flujo principal, en el fondo redondeado la magnitud de la velocidad es superior respecto a los otros fondos, por lo tanto, el flujo no se encuentra estancado, si no que fluye más lento.

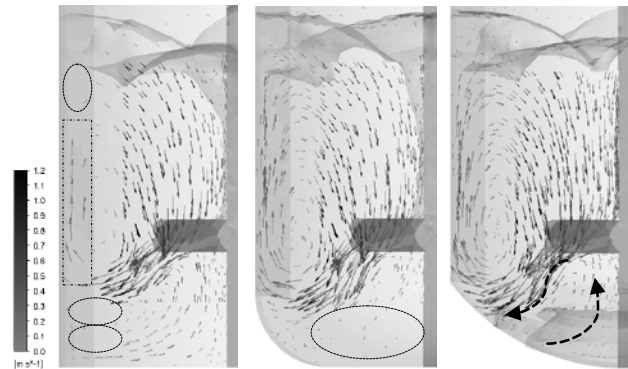


Figura 3.- Perfiles radiales de la velocidad axial para diferentes fondos.

La Tabla 1 presenta los valores del tiempo obtenido a partir de la viscosidad turbulenta que hace referencia al intercambio energético de tipo disipativo en las diferentes escalas de la turbulencia, calculado mediante la ecuación [1] y el porcentaje de intensidad turbulenta, calculado mediante la ecuación [2].

$$t = \frac{l_0^2}{\mu_t \rho} \quad [1]$$

$$I = \frac{\sqrt{\sum_n^1 u'^2}}{U} \quad [2]$$

La relación más baja entre las dos variables indica que el tanque de fondo circular mezcla mejor, porque presenta una turbulencia más vigorosa y distribuye el fluido en el volumen del tanque en menos tiempo.

Tabla 1.- Valores de tiempo e intensidad turbulenta.

Escenario	Tiempo [s]	Intensidad turbulenta [%]	Relación [s/%]
Plano	44.2	7.3	6.05
Esquinas redondeadas	45.1	6.6	6.83
Circular	44.9	10.1	4.44

Conclusiones

La forma geométrica del fondo que genera una distribución del fluido más homogénea es la que tiene el fondo redondeado. Los tanques de fondo plano y de esquinas redondeadas presentan una relación entre las variables de tiempo e intensidad turbulenta mayor, lo que indica, un mayor tiempo de tránsito por las diferentes escalas turbulentas de la energía de tipo disipativo o menor vigorosidad en la turbulencia. Se sugiere construir fondos con forma redondeada, sin embargo, por facilidad de construcción, el fondo plano es una alternativa que tiene una relación en las variables (6.05) lo que es mejor que el fondo de esquinas redondeadas. Por último, no se recomienda construir fondos con esquinas redondeadas ya que presenta una zona muerta debajo del impulsor significativamente más grande y tiene la relación más alta entre las variables (6.83).

Referencias bibliográficas

- Achouri, R., Dhaouadi, H., Mhiri, H. and Bournot, P., (2014). Numerical and experimental investigation of the self-inducing turbine aeration capacity. *Energy Conversion and Management*, Vol.83, pp. 188-196.
- ANSYS-Inc, (2006). "ANSYS Fluent Theory Guide". s.l.:s.n.
- Aubin, J. Le Sauze, N. Bertrand, J. Fletcher, D.F. Xuereb, C., (2004). "PIV measurements of flow in an aerated tank stirred by a down- and an up-pumping axial flow impeller". *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 28 pp. 447-456.
- Campo Kurmen, J. M., (2015). "Validación del modelo de dinámica forestal "GAVILAN": una herramienta para el manejo e investigación en bosques lluviosos tropicales de tierras bajas de Centroamérica", Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Romero Rojas, J. A., (1995). "Acuipurificación Diseño de Sistemas de Purificación de Aguas". Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.