



Title: “Efecto del cambio del ángulo de los álabes de los impulsores en el flujo interior en depósitos cilíndricos”

Author: Arturo, LIZARDI-RAMOS

Editorial label ECORFAN: 607-8534
BCIERMMI Control Number: 2018-03
BCIERMMI Classification (2018): 251018-0301

Pages: 15
Mail: arlr@azc.uam.mx
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

244 – 2 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

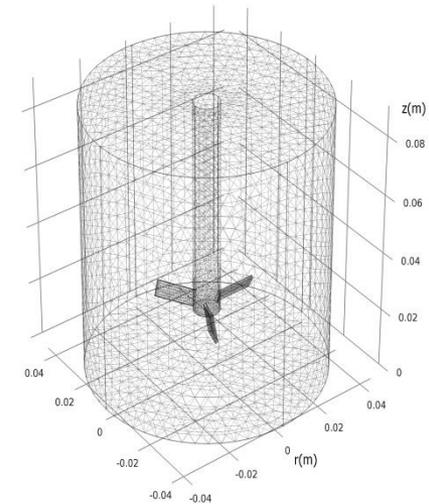
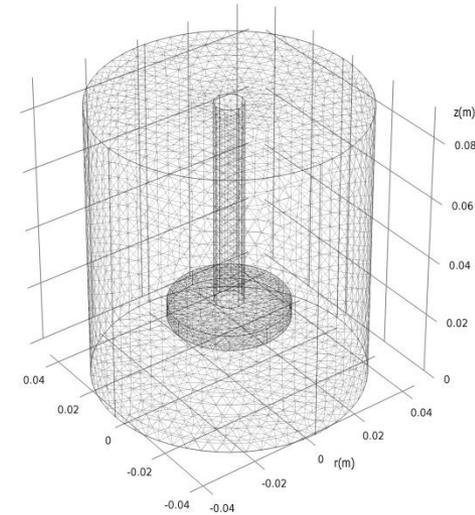
www.ecorfan.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic Republic
Spain	El Salvador	of Congo
Ecuador	Taiwan	Nicaragua
Peru	Paraguay	

Resumen

Se presenta la comparación del comportamiento del flujo dentro de una cámara cilíndrica cerrada que es producido por un impulsor de disco, uno de flujo radial, y cuatro de flujo axial, con álabes verticales inclinados a un ángulo de $+30^\circ$, -30° , $+60^\circ$ y -60° . El modelo matemático se basa en las ecuaciones de continuidad y de conservación del momentum en coordenadas polares cilíndricas para flujo permanente y para un fluido incompresible. Los resultados se presentan a través de los campos del vector velocidad (V) y de las componentes de velocidad radial (u) y axial (w). En todos los casos se maneja una velocidad angular constante, la misma relación radio/altura del depósito y agua como fluido de trabajo. El número de Reynolds acorde a las condiciones del sistema y al fluido empleado fue de 2.74×10^4 .



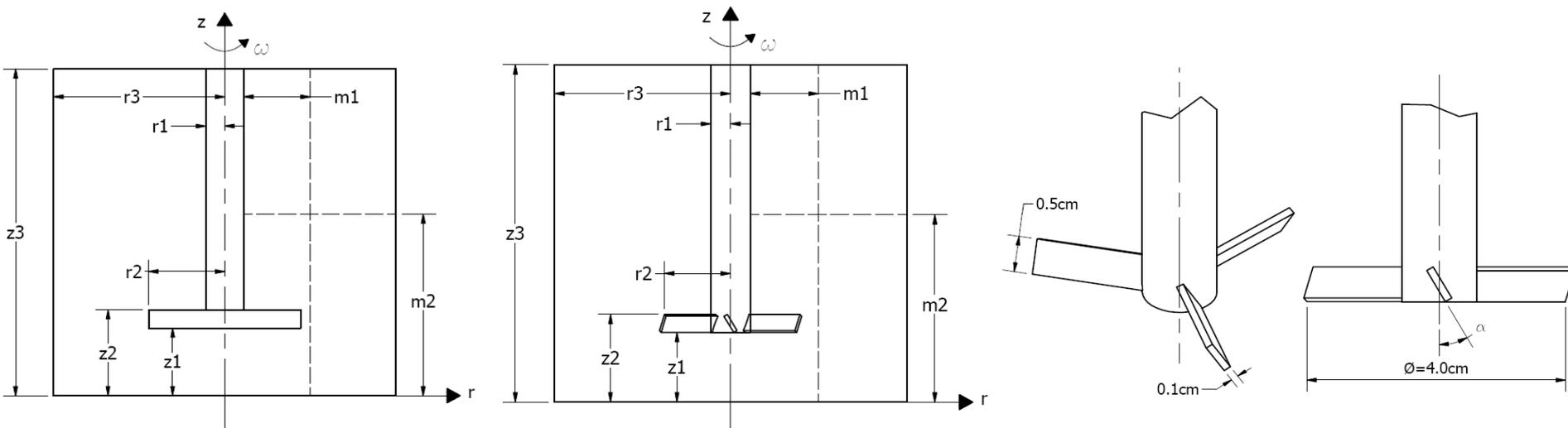
Introducción

Los sistemas rotatorios impulsor-cilindro tienen un campo de aplicaciones muy extenso, uno de los usos más importantes se encuentra en los procesos de agitación y mezclado. Los equipos utilizados para este fin constan de un recipiente cilíndrico, un agitador o impulsor, y un eje, dónde por un lado se monta el agitador y por el otro se acopla el motor eléctrico.

Las expresiones matemáticas que describen el comportamiento dinámico del flujo rotatorio dentro de un depósito parten de las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento (Navier-Stokes) en forma diferencial y en coordenadas polares cilíndricas. La complejidad de la solución de las ecuaciones estriba en su no linealidad, en el acoplamiento de sus términos y en que la divergencia de la velocidad tiene que ser cero, por lo que es importante el uso de algoritmos numéricos eficientes que permitan obtener información sobre el comportamiento del flujo. En este trabajo, la ecuación de Navier-Stokes, se aborda desde el punto de vista de la dinámica de fluidos computacional a través del método numérico de diferencias finitas obteniéndose soluciones particulares para el caso específico de un recipiente cilíndrico cerrado.

Sistemas a analizar

Se conforma de un recipiente cilíndrico vertical cerrado de 9 cm de diámetro por 9 cm de longitud, al cual se le colocan por separado seis impulsores: uno de disco, uno de flujo radial y cuatro de flujo axial. El impulsor de disco tiene 4 cm de diámetro por 0.5 cm de espesor. Los impulsores de flujo radial y axial tienen 4 cm de diámetro proyectado y tres álabes de 0.5 cm de altura por 0.1 cm de espesor. Además, los álabes de los impulsores de flujo axial tienen un ángulo de inclinación (α) de 30° , -30° , 60° y -60° respecto al eje z . Los impulsores están unidos a un eje de 1 cm de diámetro que gira a una velocidad angular constante de 13.61 rad/s.



Estado del arte

- Pao (1972) propuso un método numérico para estudiar un fluido viscoso incompresible confinado en una cámara cilíndrica donde la tapa superior está rotando a una velocidad angular constante y las paredes y fondo del recipiente permanecen fijos. Se analiza la función corriente y la circulación, la distribución de velocidades y el coeficiente de par para un rango del número de Reynolds de 1 a 400.
- Valentine y Jahnke (1994) describieron el campo de flujo dentro de un contenedor cilíndrico inducido por la rotación de las tapas superior e inferior, manteniendo la pared lateral fija. En el trabajo se demuestra que se generan puntos de estancamiento a lo largo del eje de rotación entre el plano medio de simetría y las tapas en rotación. Las relaciones geométricas analizadas fueron 0.5, 0.8, 1.0, y 1.5, se examinaron en un intervalo de números de Reynolds de 100 a 2000.
- Khalili, *et al.* (1995) proveyeron una solución numérica para un flujo laminar inducido, dentro de un cilindro, por un disco rotatorio situado asimétricamente respecto a la altura. Presentaron el análisis de las líneas de corriente, de la componente de velocidad tangencial y del coeficiente de torque para distintos posicionamientos del disco, para una relación geométrica de 1 a 2 y para un rango de números de Reynolds de 1 a 5000.

- Yu, *et al.* (2007) estudiaron numéricamente el flujo en una cámara cilíndrica cerrada con un disco giratorio en el fondo y cuyo radio es menor al de la cámara. Se analizaron, en el plano meridional, las líneas de corriente, momento angular y vorticidad, para diferentes Reynolds (1000, 1500 y 2000), relación geométrica H/R (1.5) y relación de radios R/rd (1.5, 1.8, 2.0, 2.2, 2.6, 3.0, 5.0).
- Achouri, *et al.* (2012) realizaron un estudio de un tanque agitado con impulsores de pala inclinada PBT (Pitched Blade Turbine, por sus siglas en inglés) compuestos por seis alabes y con flujo descendente. El tanque se simuló para flujos multifásicos de gas-líquido a una velocidad constante del impulsor de 480 rpm y con dos inclinaciones de alabes diferentes: 45° y 60°. En los resultados de la simulación se analizó el efecto de las inclinaciones de los alabes sobre la tasa de inducción de gas y la estructura de flujo.

Planteamiento matemático

Las ecuaciones que definen el movimiento circulatorio de un fluido viscoso, incompresible, en estado permanente, en el interior de un recipiente cilíndrico vertical, son las ecuaciones de Navier-Stokes en coordenadas cilíndricas.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (ru) + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$u \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} - \frac{v^2}{r} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \nu \left[\nabla^2 u - \frac{u}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right]$$

$$u \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} - \frac{uv}{r} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial P}{\partial \theta} + \nu \left[\nabla^2 v - \frac{v}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \theta} \right]$$

$$u \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \nabla^2 w + g$$

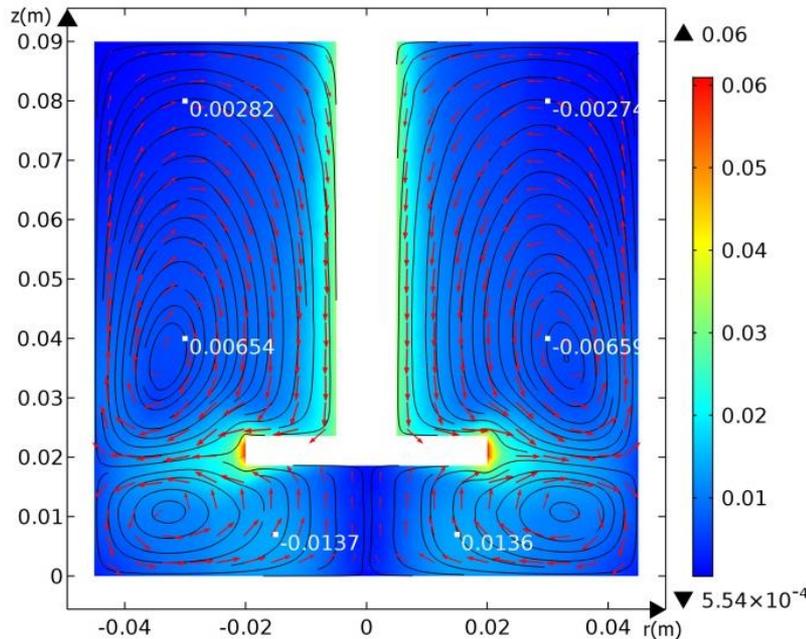
En estas expresiones se tienen como incógnitas las tres componentes de velocidad (u , v , y w) y la presión (P). Las condiciones de frontera adecuadas para el caso del modelo con impulsor de disco se muestran en la siguiente tabla.

$r = 0,$ $0 \leq z \leq z_1$	$u = 0,$	$v = 0,$	$\frac{\partial w}{\partial r} = 0$
$r = r_3,$ $0 \leq z \leq z_3$	$u = 0,$	$v = 0,$	$w = 0$
$0 \leq r \leq r_2$ $z = z_1,$ $r_1 \leq r \leq r_2$ $z = z_2$	$u = 0,$	$v = \omega r,$	$w = 0$
$z_1 \leq z \leq z_2$ $r = r_2$ $z_2 \leq z \leq z_3$ $r = r_1,$	$u = 0,$	$v = \omega r,$	$w = 0$
$z = 0,$ $0 \leq r \leq r_3$ $z = z_3,$ $r_1 \leq r \leq r_3$	$u = 0,$	$v = 0,$	$w = 0$

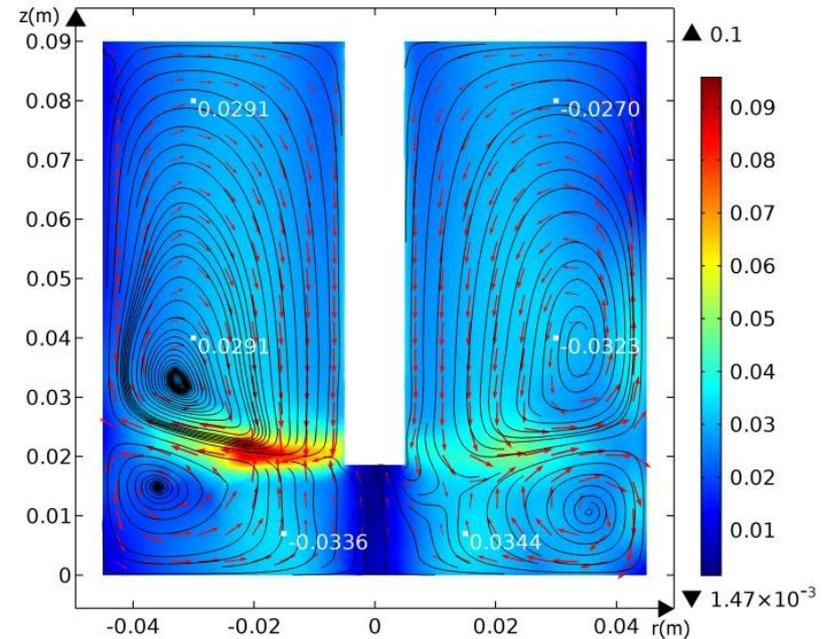
Dónde r_1 , r_2 y r_3 corresponden al radio del eje, del impulsor y del depósito, respectivamente; z_1 , z_2 y z_3 son las distancias desde el fondo del cilindro hasta la parte inferior del impulsor, parte superior del mismo y tapa del tanque, respectivamente; y ω es la velocidad angular con que gira el impulsor.

Resultados

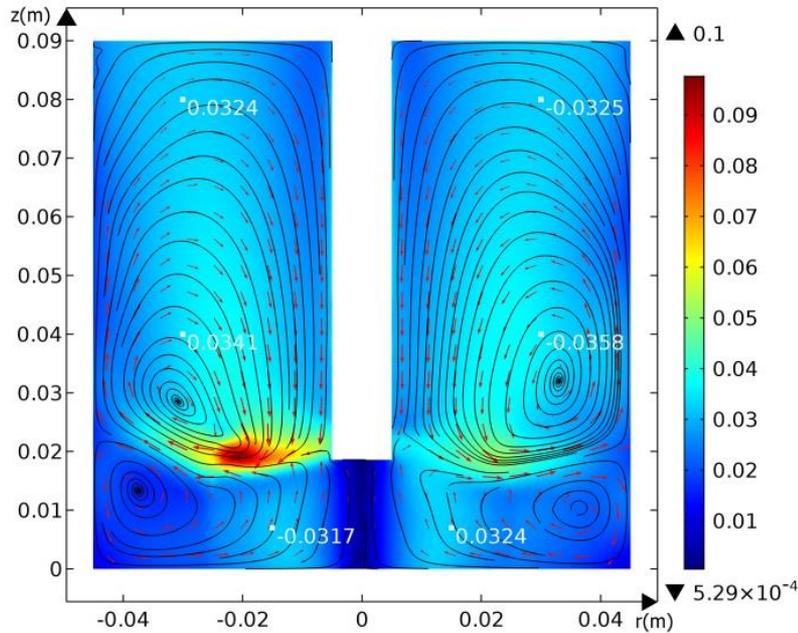
Una vez elaborada la configuración del sistema y la programación del modelo numérico se efectuaron corridas para agua como fluido de trabajo.



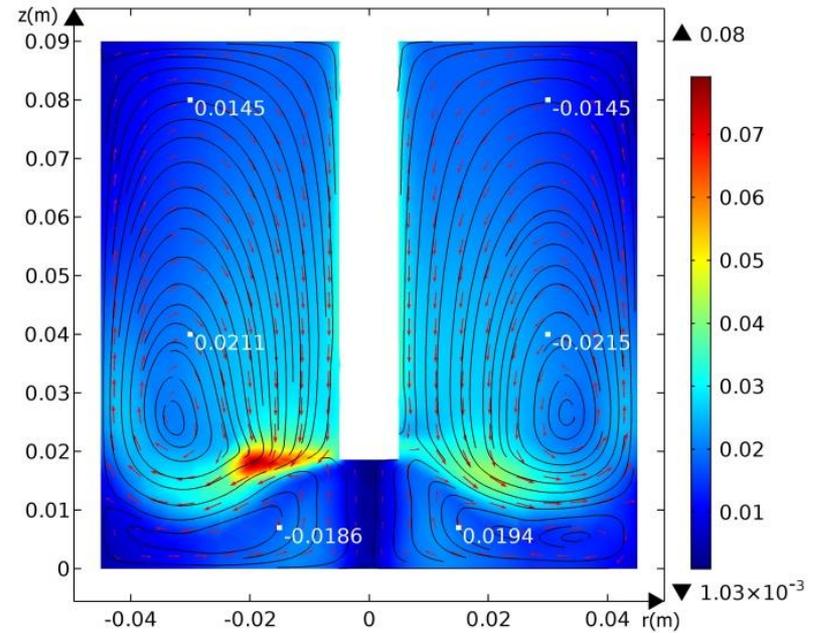
Campo de velocidades (\bar{v}) con impulsor de disco para $Re=2.74 \times 10^4$



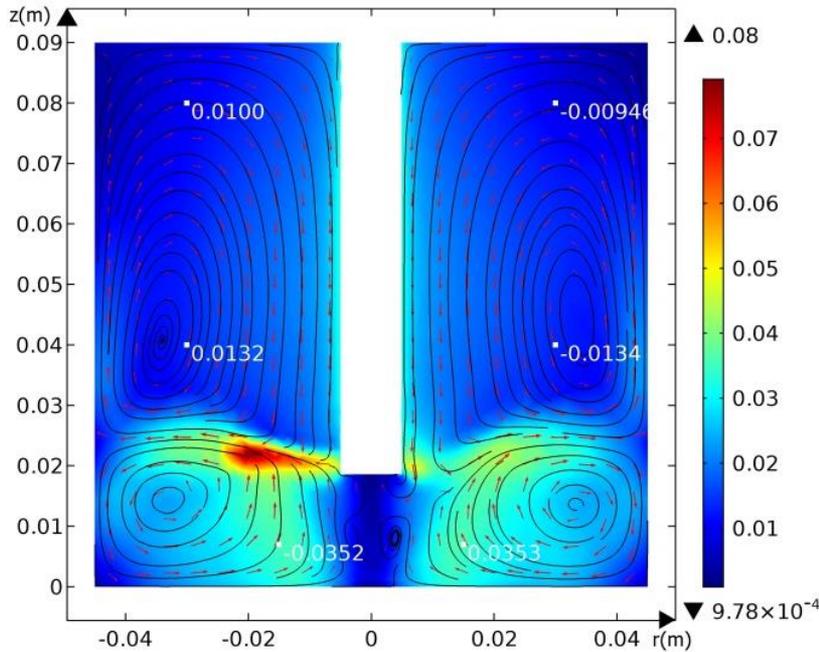
Campo de velocidades (\bar{v}) con impulsor de flujo radial ($\alpha=0^\circ$) y $Re=2.74 \times 10^4$



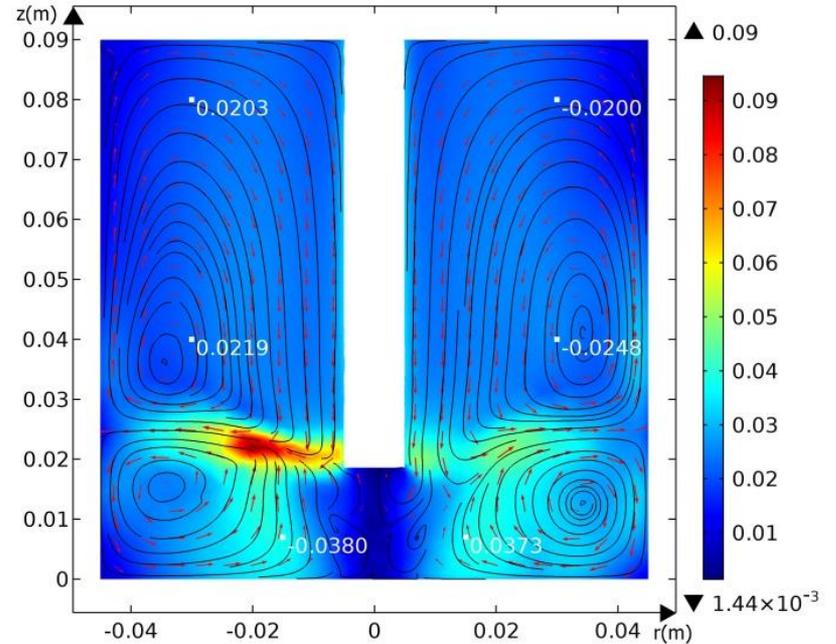
Campo de velocidades (\bar{v}) con impulsor de flujo axial con $\alpha=30^\circ$ y $Re=2.74 \times 10^4$



Campo de velocidades (\bar{v}) con impulsor de flujo axial con $\alpha=60^\circ$ y $Re=2.74 \times 10^4$

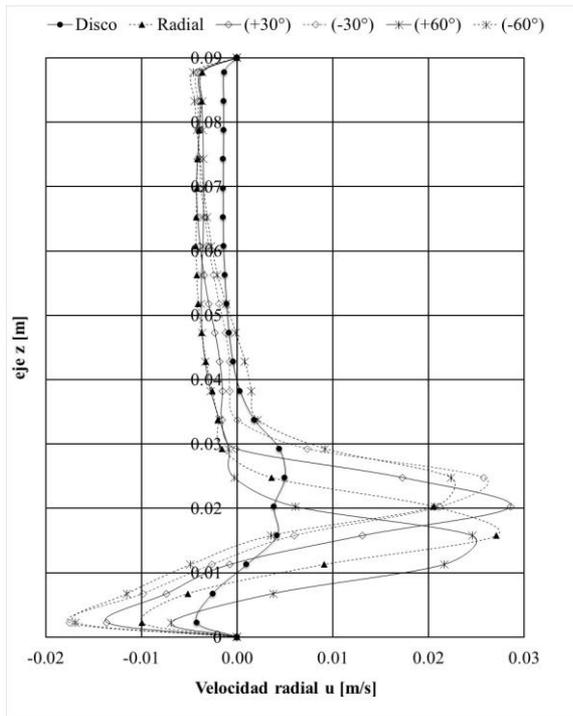


Campo de velocidades (\vec{v}) con impulsor de flujo axial con $\alpha=-30^\circ$ y $Re=2.74 \times 10^4$



Campo de velocidades (\vec{v}) con impulsor de flujo axial con $\alpha=-60^\circ$ y $Re=2.74 \times 10^4$

Para analizar más detalladamente el movimiento del fluido en el recipiente, se hicieron gráficas del comportamiento de las componentes de velocidad radial (u) y axial (w).

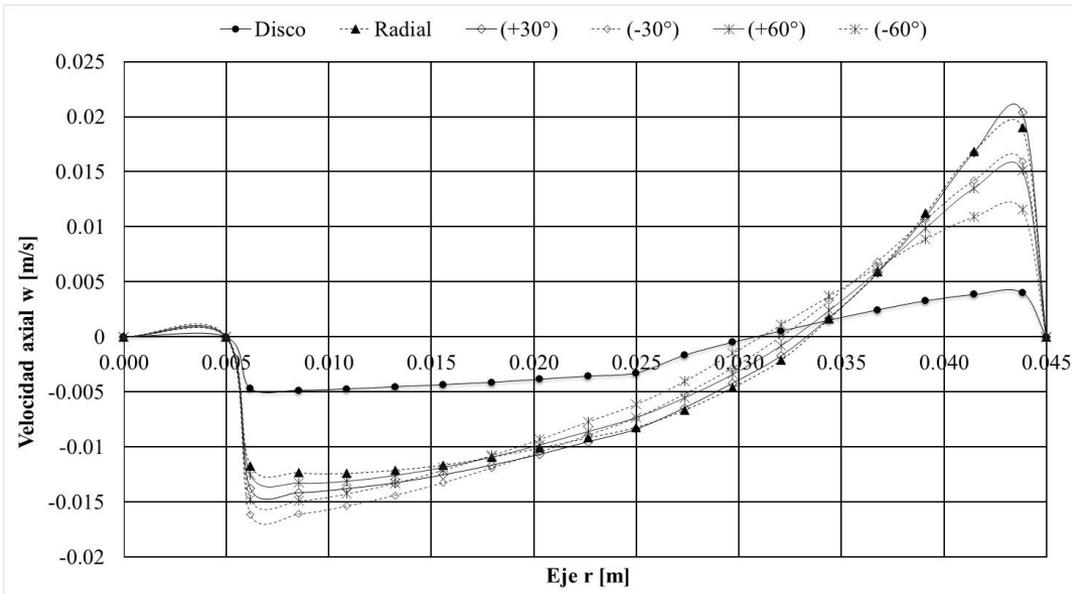


Componente de velocidad radial (u) en la posición $m_1=2.5$ cm, para $Re=2.74 \times 10^4$

Valores máximos y mínimos de la velocidad radial (u) para $Re=2.74 \times 10^4$

Impulsor	$u_{\text{máx}}$ (m/s)
Disco	$-4.19 \times 10^{-3}, +4.99 \times 10^{-3}, -1.45 \times 10^{-3}$
Flujo radial	$-9.97 \times 10^{-3}, +27.08 \times 10^{-3}, -4.30 \times 10^{-3}$
Flujo axial $\alpha=+30^\circ$	$-13.62 \times 10^{-3}, +28.62 \times 10^{-3}, -4.27 \times 10^{-3}$
Flujo axial $\alpha=+60^\circ$	$-6.88 \times 10^{-3}, +24.61 \times 10^{-3}, -3.75 \times 10^{-3}$
Flujo axial $\alpha=-30^\circ$	$-17.48 \times 10^{-2}, +25.78 \times 10^{-3}, -4.09 \times 10^{-3}$
Flujo axial $\alpha=-60^\circ$	$-16.87 \times 10^{-3}, +22.91 \times 10^{-3}, -4.59 \times 10^{-3}$

Al comparar los resultados del impulsor de flujo radial y los de flujo axial (con álabes inclinados $+30^\circ$, $+60^\circ$, -30° y -60°), respecto al de disco, se encontró que la componente de velocidad radial positiva (u) aumentó 442.68, 473.55, 393.18, 416.63 y 359.12%, respectivamente.



Componente de velocidad axial (w) en la posición $m_2 = 0.93$ cm, para $Re=2.74 \times 10^4$

Valores máximos y mínimos de la velocidad axial (w) para $Re=2.74 \times 10^4$

Impulsor	$w_{\text{máx}}$ (m/s)
Disco	-4.86×10^{-3} , $+4.03 \times 10^{-3}$
Flujo radial	-12.39×10^{-3} , $+19.00 \times 10^{-3}$
Flujo axial $\alpha=+30^\circ$	-14.16×10^{-3} , $+20.38 \times 10^{-3}$
Flujo axial $\alpha=+60^\circ$	-13.52×10^{-3} , $+15.15 \times 10^{-3}$
Flujo axial $\alpha=-30^\circ$	-16.11×10^{-3} , $+15.90 \times 10^{-3}$
Flujo axial $\alpha=-60^\circ$	-14.88×10^{-3} , $+11.56 \times 10^{-3}$

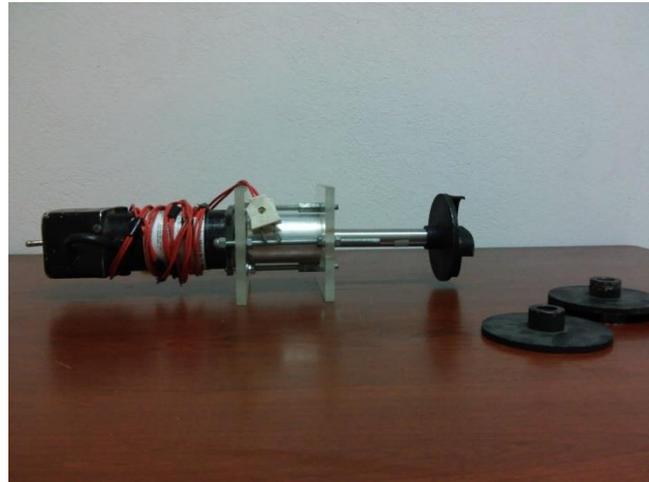
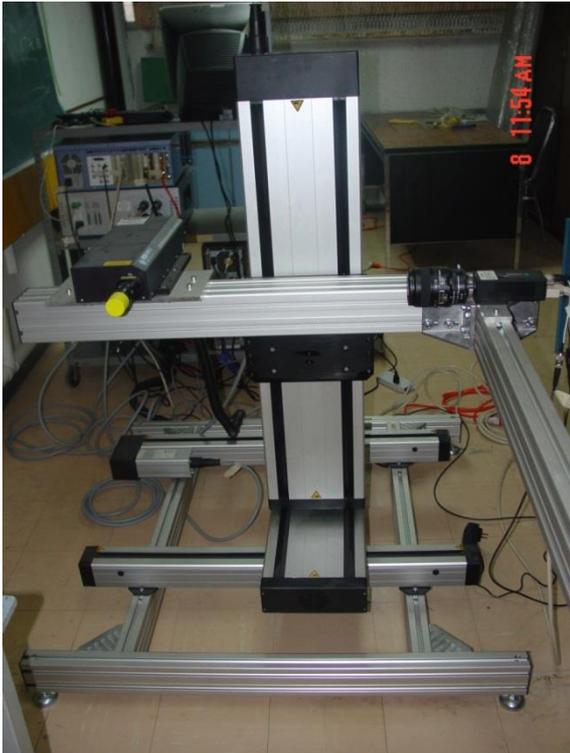
Al comparar los resultados del impulsor de flujo radial y los de flujo axial (con álabes inclinados $+30^\circ$, -30° , $+60^\circ$ y -60°), respecto al de disco, se encontró que: la componente de velocidad axial positiva (w), por encima de los impulsores, aumentó 371.46, 405.71, 294.54, 275.93 y 186.84%, respectivamente.

Conclusiones

- Los resultados obtenidos en este trabajo mostraron que el movimiento del fluido, del lado derecho del recipiente, que fue generado por los impulsores de disco, de flujo radial y axial, produjeron dos flujos: uno que gira en sentido horario, ubicado por debajo de los impulsores y otro que gira en sentido anti horario ubicado por encima de los mismos.
- Los impulsores de flujo axial con ángulos positivos forzaron al fluido a moverse hacia el fondo del depósito, lo que produjo que los vórtices generados por debajo de los impulsores se redujeran en tamaño. Por el contrario, los impulsores de flujo axial con ángulos negativos generaron vórtices de mayor tamaño en la misma zona.

- Al comparar los resultados del impulsor de flujo radial y los de flujo axial (con álabes inclinados $+30^\circ$, -30° , $+60^\circ$ y -60°), respecto al de disco, se encontró que: la componente de velocidad radial positiva (u) aumentó 442.68, 473.55, 416.63, 393.18 y 359.12%, respectivamente; y la componente de velocidad axial positiva (w), por encima de los impulsores, aumentó 371.46, 405.71, 294.54, 275.93 y 186.84%, respectivamente.

Equipo experimental





ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)