



Conference: Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables -
Mantenimiento Industrial - Mecatrónica e Informática

Booklets



RENIECYT

Registro Nacional de Instituciones
y Empresas Científicas y Tecnológicas

2015-20795

CONACYT

RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar
DOI - REBID - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Análisis numérico del flujo asimétrico variando la posición axial del impulsor

Author: Arturo Lizardi-Ramos

Editorial label ECORFAN: 607-8324
BCIERMIMI Control Number: 2016-01
BCIERMIMI Classification(2016): 191016-0101

Pages: 20

Mail: arlr@correo.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

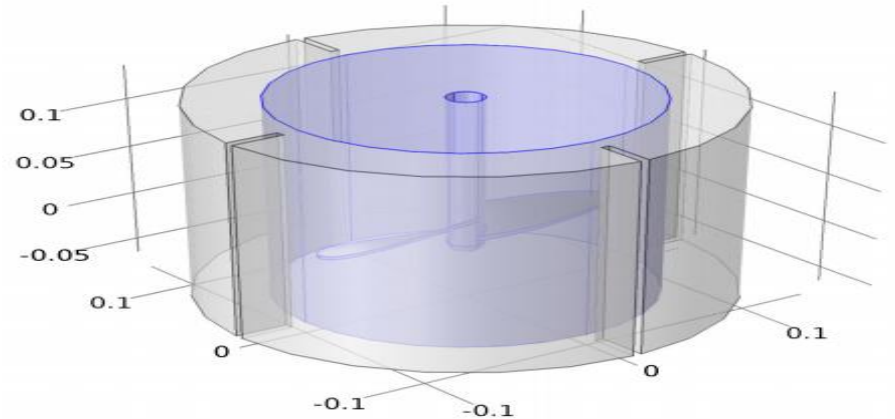
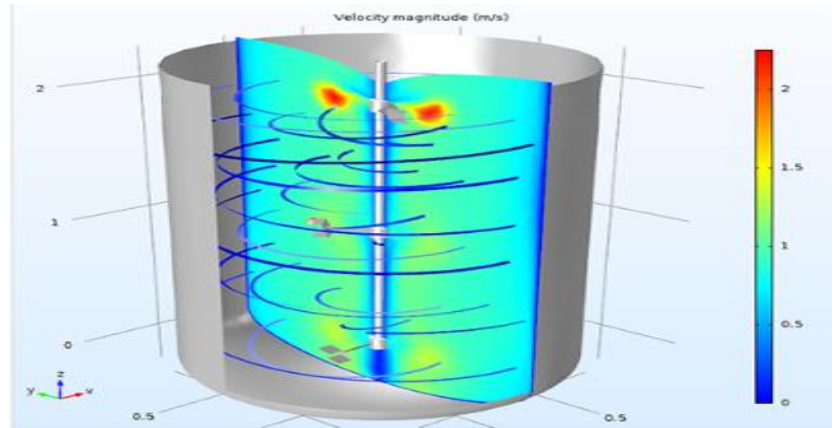
Bolivia	Honduras	China	Nicaragua
Cameroon	Guatemala	France	Republic of the Congo
El Salvador	Colombia	Ecuador	Dominica
Peru	Spain	Cuba	Haití
Argentina	Paraguay	Costa Rica	Venezuela
Czech Republic			

Resumen

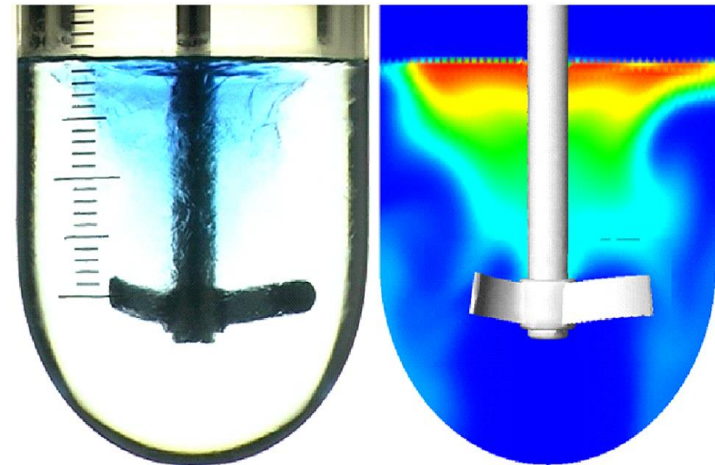
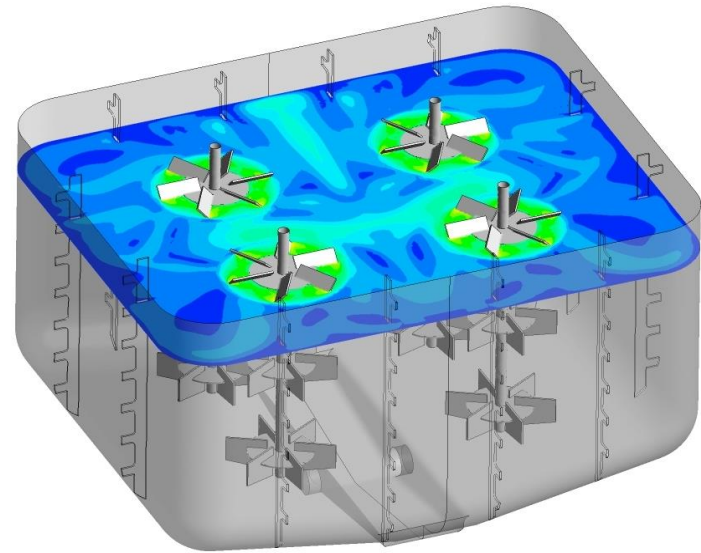
Se presenta el análisis numérico de la función corriente (Ψ) y de las componentes de velocidad radial (u) y axial (w) originadas por el movimiento de un fluido incompresible que gira en el interior de un depósito cilíndrico cerrado y que es producido por un disco impulsor. Se modelan y resuelven las ecuaciones de continuidad y de cantidad de movimiento en estado permanente. Los resultados son para un radio del impulsor, ocho posiciones del mismo sobre el eje axial y dos tipos de fluido: agua y gasolina, que corresponden a un Reynolds de 2.74×10^4 y 0.63×10^4 , respectivamente.

Introducción

El flujo rotatorio confinado en una cámara cilíndrica vertical, que es generado por un impulsor radial, es importante por las diversas aplicaciones prácticas que tiene en el campo de la ingeniería y por el análisis teórico que presenta al resolver sus ecuaciones rectoras.

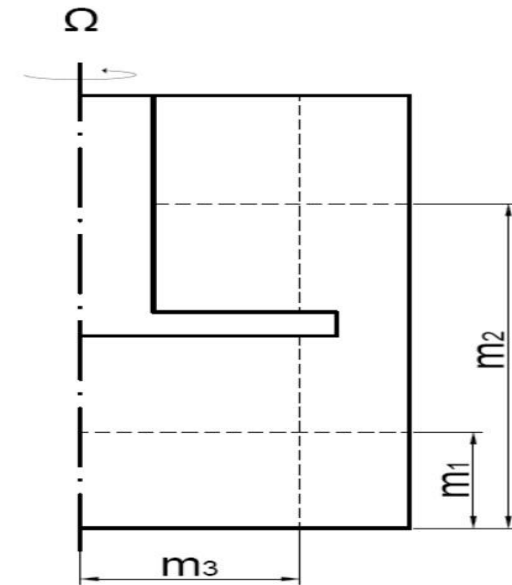
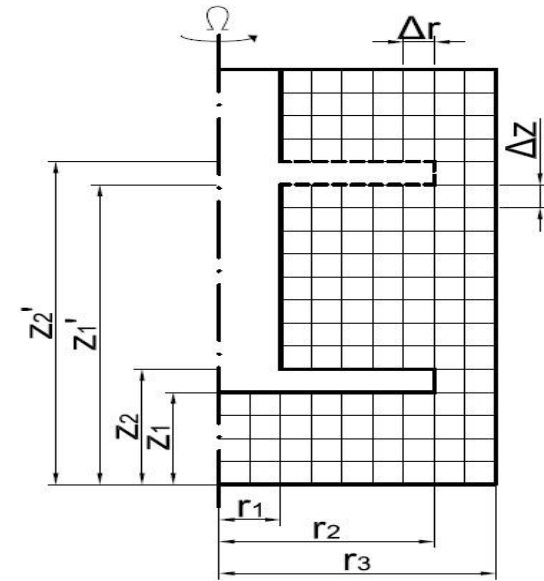


Entre las aplicaciones prácticas se pueden mencionar el flujo en maquinaria centrífuga tal como bombas y compresores, cámaras de mezclado, aireadores tipo turbina para plantas de tratamiento de agua, etc. Las expresiones matemáticas que describen el comportamiento dinámico del flujo rotatorio parten de las ecuaciones de Navier-Stokes, ecuación diferencial parcial no lineal y elíptica.



Modelo Físico

El sistema a estudiar consiste en un recipiente cilíndrico cerrado de 0.045 m de radio y 0.09 m de altura, que tiene un disco impulsor de 0.005 m de espesor y 0.035 m de radio, y cuya posición vertical se variará en ocho posiciones distintas sobre el eje de la cámara. El impulsor se sujeta, desde la parte superior, por medio de un eje de 0.01 m de radio, que gira a una velocidad angular constante de 13.61 rad/s. En el interior del depósito se tiene un fluido viscoso e incompresible de propiedades físicas constantes.



Estado del arte

- Pao H-P (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 circulación, la distribución de velocidades y el coeficiente de par para un rango del número de Reynolds de 1 a 400.
- Bertelá, M., Gori, F. (1982) presentaron un método numérico que permite resolver el flujo estable y transitorio de un fluido dentro de una cámara cilíndrica con la cubierta rotando. En el estudio se analizan las componentes de velocidad, líneas de corriente y coeficiente de torque para un número de Reynolds de 100 y 1000, y para una relación geométrica de 0.5, 1 y 2.
- Lang, E., Sridhar, K., Wilson, N. W. (1994) estudiaron numéricamente el flujo laminar estable en un cilindro fijo con un disco rotando en la tapa superior. El trabajo resalta el análisis del coeficiente de torque y de los flujos volumétricos primario y secundario para un rango del número de Reynolds de 1 a 105 y para una relación geométrica de 0.02 a 3.

- Khalili, A., Adabala, R. R., Rath H. J .(1995) proveyeron una solución numérica para un flujo laminar inducido por un disco rotatorio situado asimétricamente respecto a la altura, dentro de un cilindro. Presentaron el análisis de las líneas de corriente y componentes de velocidad tangencial así como el coeficiente de torque para los distintos posicionamientos del disco para una relación geométrica de 1 a 2 y un rango de números de Reynolds de 1 a 5000.
- Yu, P., Lee, T. S., Zeng, Y., Low, H. T . (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. El comportamiento del flujo se investigó para una amplia gama de parámetros. 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).
- Sturzenegger, J. C., Sarasúa, L. G., Martí, A. C. (2012) estudiaron el flujo axisimétrico dentro de un recipiente cilíndrico con una varilla a lo largo de su eje de simetría. El flujo se produce por la rotación de uno de los extremos del cilindro, de ambos extremos, o de la pared lateral. Se presentan expresiones analíticas (para números de Reynolds bajos) del campo de velocidad azimutal, extendiendo la solución para el caso sin varilla.

Modelo Matemático

El modelo matemático que describe el flujo axisimétrico en estado permanente de un fluido viscoso, incompresible, que gira en el interior de un recipiente cilíndrico, se expresa a través de las ecuaciones continuidad y conservación la cantidad de movimiento en coordenadas polares cilíndricas (R, Φ, Z).

$$\frac{\partial U}{\partial R} + \frac{U}{R} + \frac{\partial W}{\partial Z} = 0 \quad (1)$$

$$U \frac{\partial U}{\partial R} - \frac{V^2}{R} + W \frac{\partial U}{\partial Z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial R} + v \left[\frac{\partial^2 U}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial U}{\partial R} - \frac{U}{R^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} \right] \quad (2)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial R} + \frac{U V}{R} + W \frac{\partial V}{\partial Z} = v \left[\frac{\partial^2 V}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial V}{\partial R} - \frac{V}{R^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Z^2} \right] \quad (3)$$

$$U \frac{\partial W}{\partial R} + W \frac{\partial W}{\partial Z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial Z} + v \left[\frac{\partial^2 W}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial W}{\partial R} + \frac{\partial^2 W}{\partial Z^2} \right] - g \quad (4)$$

En este sistema de ecuaciones dimensionales las incógnitas son las tres componentes de velocidad (U, V, W) y la presión (P). Pero se tiene el problema de que la presión en cualquier punto del fluido depende de las componentes de velocidad. Para salvar esta dificultad, eliminando el término de la presión, se hace una transformación de las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento en función de la vorticidad (ζ), circulación (γ) y función corriente meridional (ψ). Una vez hecha la transformación de las ecuaciones, éstas se adimensionalizan, discretizan y resuelven. La forma adimensional resultante es:

$$u \frac{\partial \Gamma}{\partial r} + w \frac{\partial \Gamma}{\partial z} = \frac{1}{\text{Re}} \left[\nabla^2 \Gamma - \frac{2}{r} \frac{\partial \Gamma}{\partial r} \right] \quad (5)$$

$$u \frac{\partial \xi}{\partial r} + w \frac{\partial \xi}{\partial z} - \frac{u \xi}{r} - \frac{1}{r^3} \frac{\partial (\Gamma^2)}{\partial z} = \frac{1}{\text{Re}} \left[\nabla^2 \xi - \frac{\xi}{r^2} \right] \quad (6)$$

$$\nabla^2 \Psi - \frac{2}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial r} = r \xi \quad (7)$$

Los parámetros que relacionan las variables adimensionales ($r, z, u, v, w, \Psi, \Gamma, \xi$) con las dimensionales ($R, Z, U, V, W, \psi, \gamma, \varsigma$) están definidos por las siguientes ecuaciones:

$$\frac{R}{r_3} = r, \frac{Z}{r_3} = z, \frac{U}{\Omega r_3} = u, \frac{V}{\Omega r_3} = v, \quad (8)$$

$$\frac{W}{\Omega r_3} = w, \frac{\Psi}{\Omega r_3^3} = \Psi, \frac{\gamma}{\Omega r_3^2} = \Gamma, \frac{\varsigma}{\Omega} = \xi,$$

$$Re = \frac{\Omega r_3^2}{\nu}$$

$$\gamma = 2\pi VR, \varsigma = \frac{\partial U}{\partial Z} - \frac{\partial W}{\partial R}, \quad (9)$$

$$U = \frac{1}{R} \frac{\partial \psi}{\partial Z}, W = -\frac{1}{R} \frac{\partial \psi}{\partial R}$$

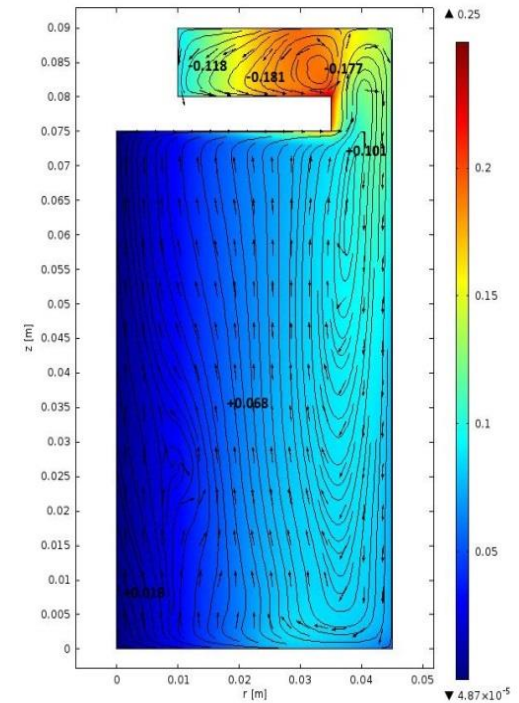
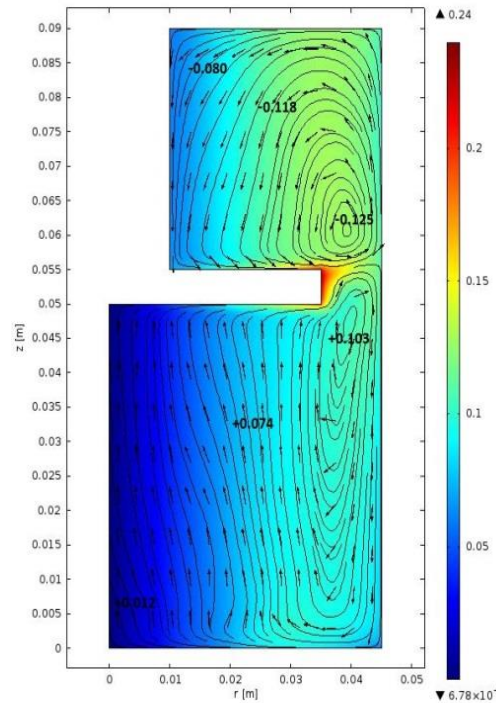
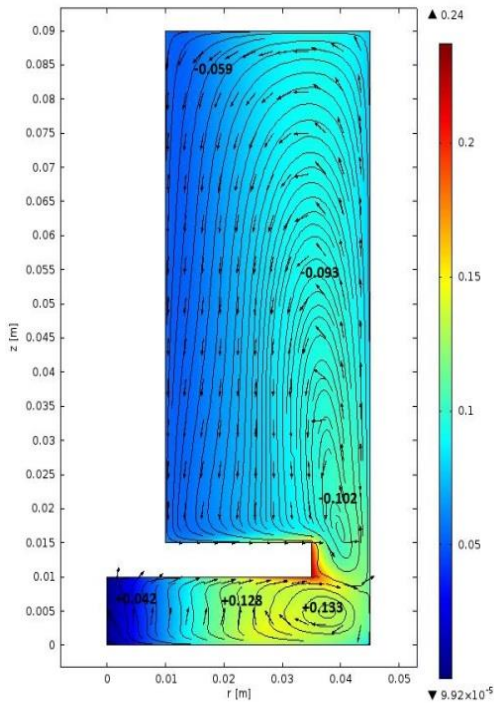
Las condiciones de frontera son:

$r = 0,$ $0 \leq z \leq z_1$	$\Psi = 0,$	$\Gamma = 0,$	$\xi = 0$	
$r = r_3,$ $0 \leq z \leq z_3$	$\Psi = 0,$	$\Gamma = 0,$	$\xi = \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial r^2}$	
$z = z_1,$ $0 \leq r \leq r_2$ $z = z_2,$ $r_1 \leq r \leq r_2$	$\Psi = 0,$	$\Gamma = r^2,$	$\xi = \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2}$	(10)
$z_1 \leq z \leq z_2$ $r = r_2$ $z_2 \leq z \leq z_3,$ $r = r_1,$	$\Psi = 0,$	$\Gamma = r^2,$	$\xi = \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial r^2}$	
$z = 0,$ $0 \leq r \leq r_3$ $z = z_3,$ $r_1 \leq r \leq r_3$	$\Psi = 0,$	$\Gamma = 0,$	$\xi = \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2}$	

Para obtener los campos de las funciones corriente meridional (Ψ), circulación (Γ) y vorticidad tangencial (ξ) se generó un programa de cómputo en lenguaje de programación C++. Para determinar las componentes de velocidad radial y axial, se adimensionalizan y discretizan las ecuaciones que definen a la función corriente (9), y se emplean los resultados obtenidos en el sistema de ecuaciones anterior. Las expresiones resultantes en diferencias finitas son:

$$u_{i,j} = \frac{\Psi_{i,j-2} - 8\Psi_{i,j-1} + 8\Psi_{i,j+1} - \Psi_{i,j+2}}{12 \Delta r \Delta z i};$$

$$w_{i,j} = \frac{\Psi_{i+2,j} - 8\Psi_{i+1,j} + 8\Psi_{i-1,j} - \Psi_{i-2,j}}{12 \Delta r^2 i}$$

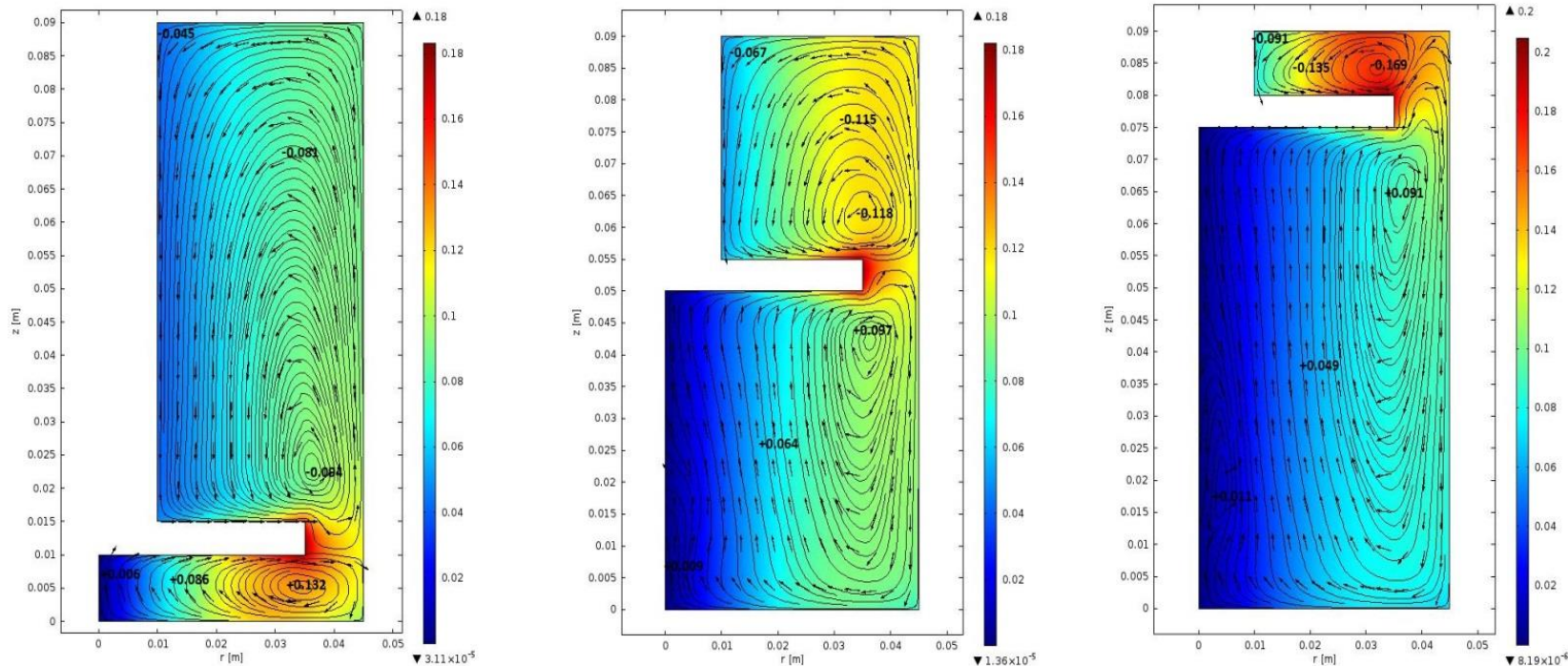


Líneas de función corriente adimensional (Ψ) para $Re=2.74 \times 10^4$ (agua) y posiciones del impulsor z_1 de 0.01, 0.05, y 0.075 m.

Los resultados para Ψ máx (+), van reduciendo mediante el impulsor va ascendiendo; tiene un decremento de 24.33 %

Los resultados para Ψ máx (-), van aumentando mediante el impulsor va ascendiendo; tiene un incremento de 72.74 %

Posición z_1 (m)	Ψ máx (+) Agua	Ψ máx (-) Agua
0.01	0.1336	-0.1027
0.05	0.1033	-0.1259
0.075	0.1011	-0.1774

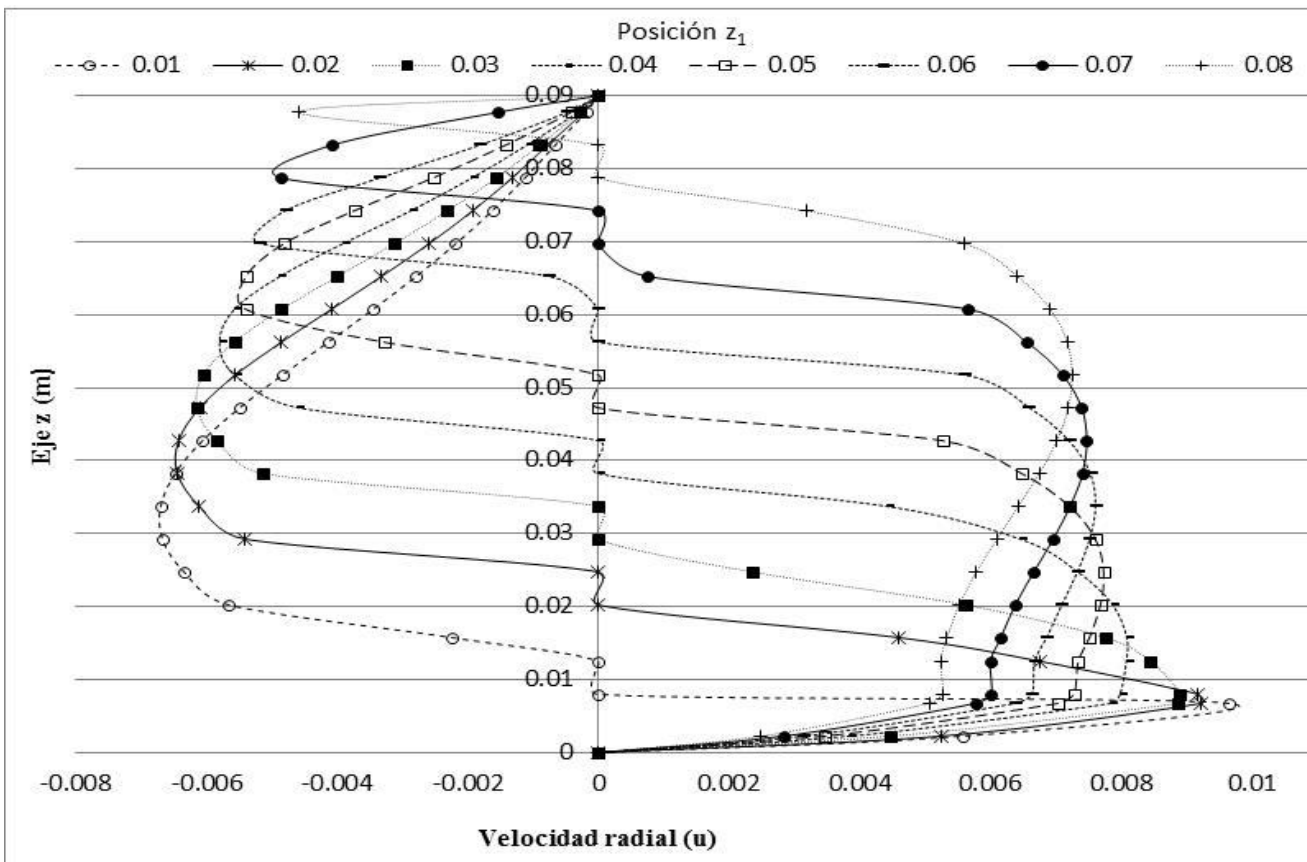


Líneas de función corriente adimensional (Ψ) para $Re=0.63 \times 10^4$ (gasolina) y posiciones del impulsor z_1 de 0.01, 0.05, y 0.075 m.

Los resultados para Ψ máx (+), van reduciendo mediante el impulsor va ascendiendo; tiene un decremento de 31.05 %

Los resultados para Ψ máx (-), van aumentando mediante el impulsor va ascendiendo; tiene un incremento de 79.91 %

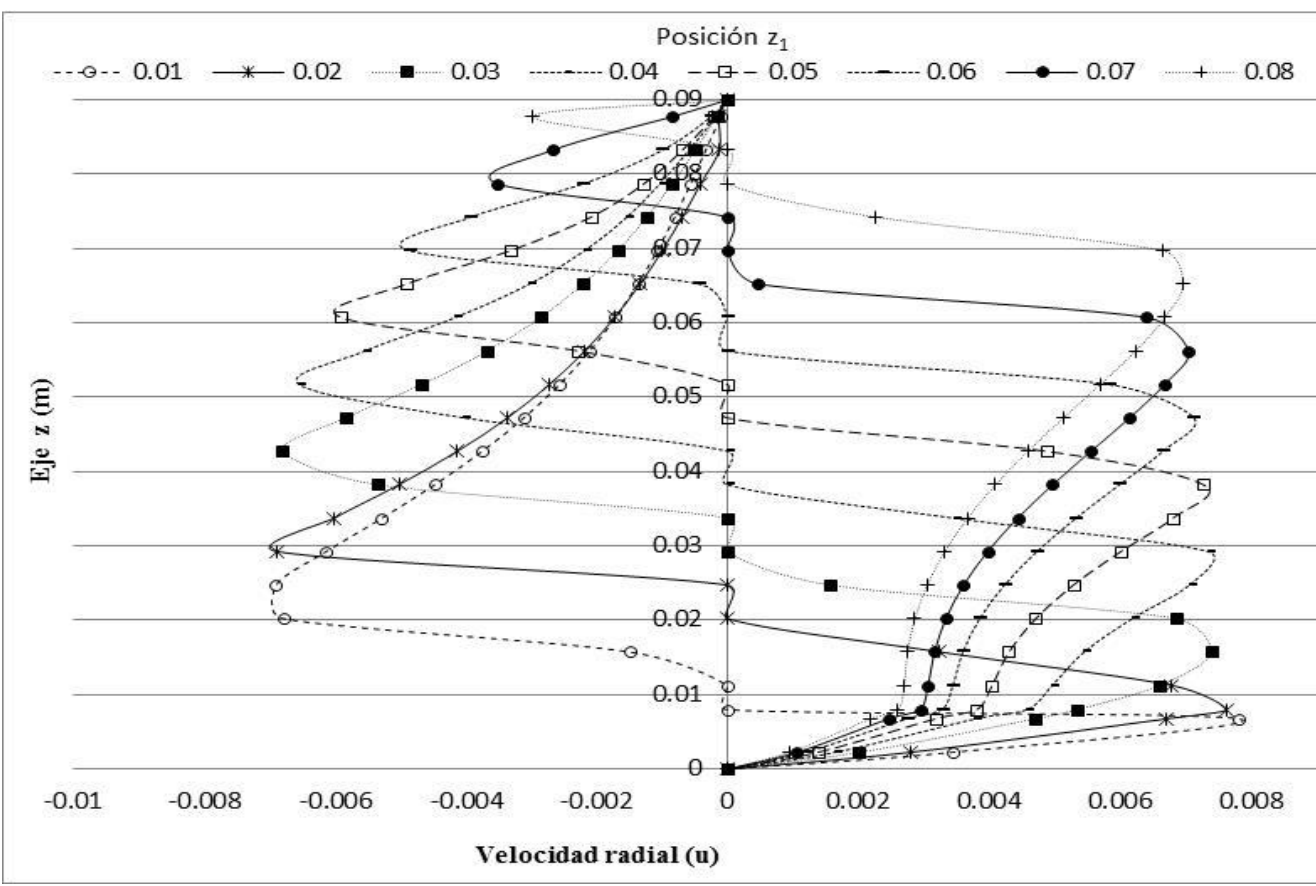
Posición z_1 (m)	Ψ máx (+) Gasolina	Ψ máx (-) Gasolina
0.01	0.1327	-0.0941
0.05	0.0972	-0.1187
0.075	0.0915	-0.1693



Posición z_1 (m)	$u_{\text{máx}}$ (+) Agua
0.01	9.66×10^{-3}
0.02	9.23×10^{-3}
0.03	8.91×10^{-3}
0.04	8.10×10^{-3}
0.05	7.74×10^{-3}
0.06	7.61×10^{-3}
0.07	7.48×10^{-3}
0.08	7.25×10^{-3}

Componente de velocidad radial (u) para $Re=2.74 \times 10^4$ (Agua) y distintas posiciones del impulsor (z_1).

El valor máximo positivo de la componente de velocidad radial (u), alcanzó una magnitud máxima y mínima de 9.66×10^{-3} y 7.25×10^{-3} , respectivamente, es decir hay un decremento del 24.94%.



Posición z_1 (m)	$u_{\text{máx}}$ (+) Gasolina
0.01	7.82×10^{-3}
0.02	7.63×10^{-3}
0.03	7.41×10^{-3}
0.04	7.36×10^{-3}
0.05	7.28×10^{-3}
0.06	7.13×10^{-3}
0.07	7.05×10^{-3}
0.08	6.96×10^{-3}

Componente de velocidad radial (u) para $Re=0.63 \times 10^4$ (Gasolina) y distintas posiciones del impulsor (z_1).

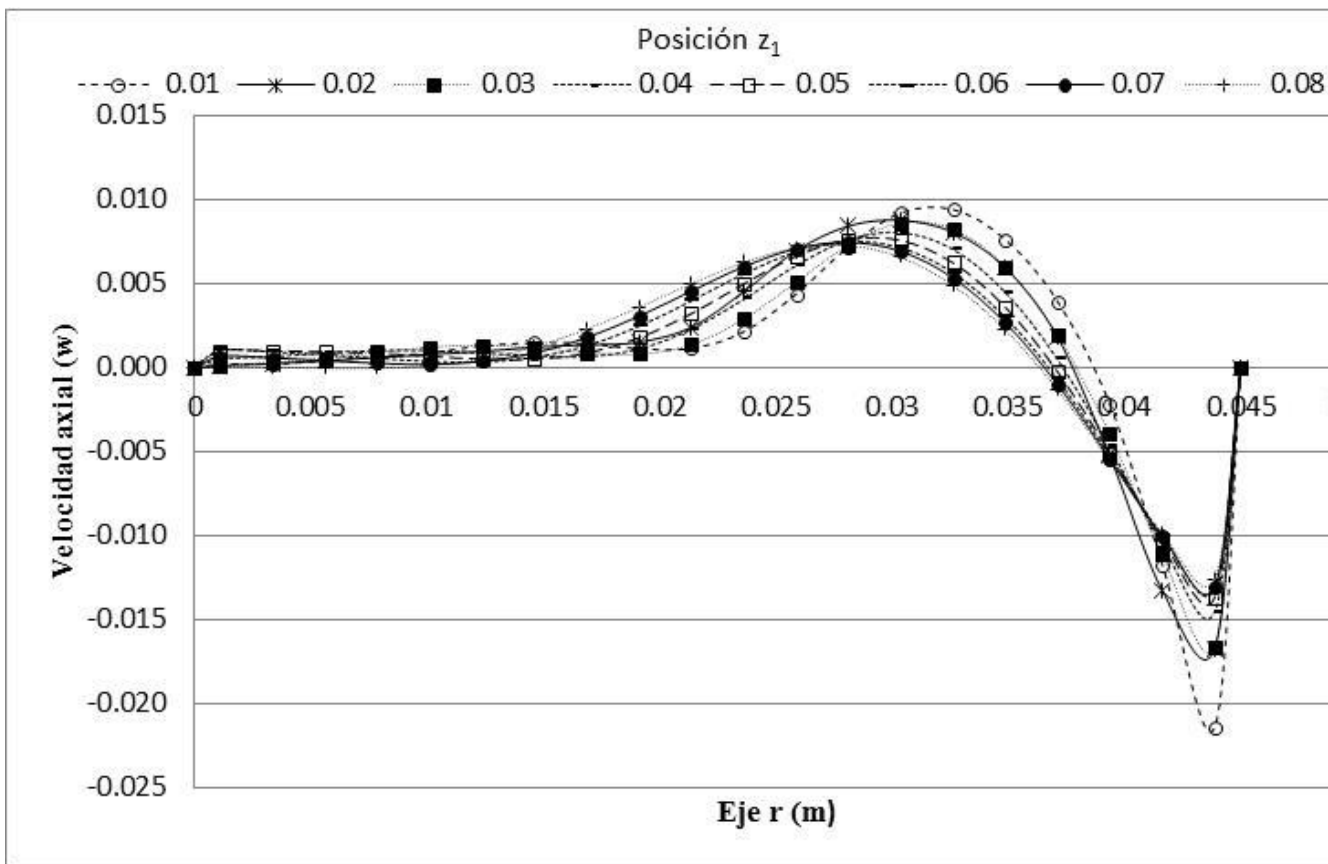
El valor máximo positivo de la componente de velocidad radial (u), alcanzó una magnitud máxima y mínima de 7.82×10^{-3} y 6.96×10^{-3} , respectivamente, es decir hay un decremento del 10.99%.



Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática

2016

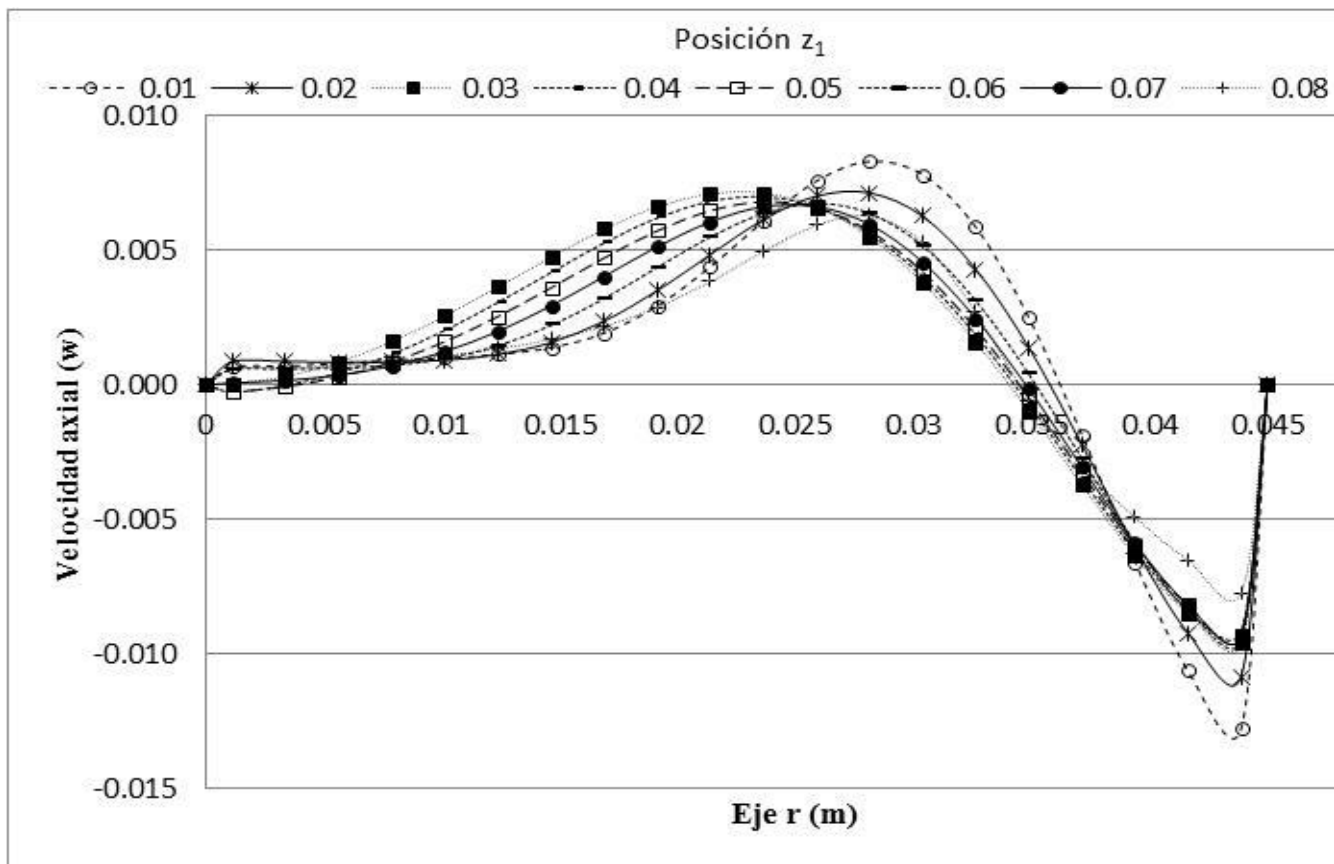




Posición z_1 (m)	$w_{\text{máx}}$ (+) Agua
0.01	9.45×10^{-3}
0.02	8.79×10^{-3}
0.03	8.64×10^{-3}
0.04	8.07×10^{-3}
0.05	7.65×10^{-3}
0.06	7.52×10^{-3}
0.07	7.49×10^{-3}
0.08	7.29×10^{-3}

Componente de velocidad axial (w) para $Re=2.74 \times 10^4$ (Agua), y distintas posiciones del impulsor (z_1).

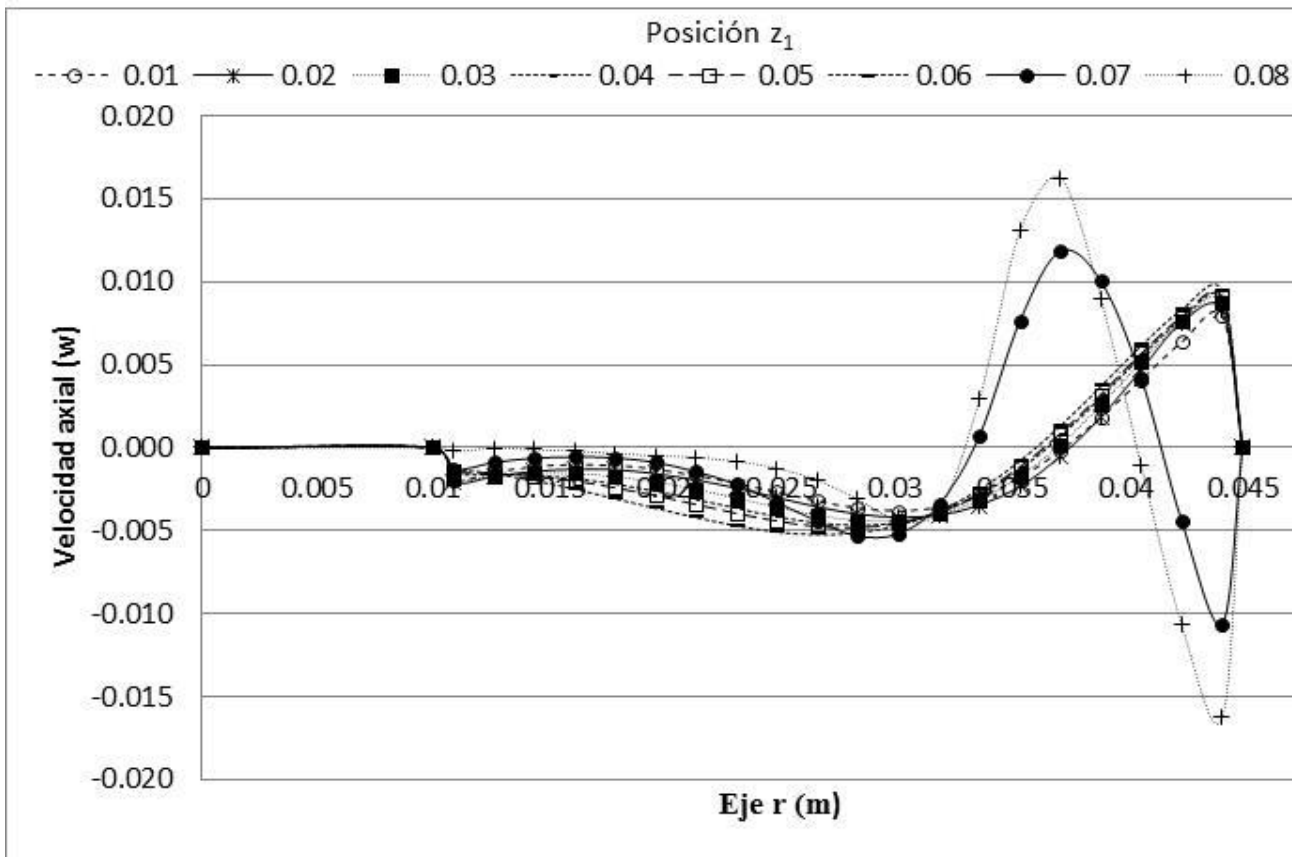
El valor máximo positivo de la componente de velocidad axial (w), alcanzó una magnitud máxima y mínima de 9.45×10^{-3} y 7.29×10^{-3} , respectivamente, es decir hay un decremento del 22.85%.



Posición z_1 (m)	$w_{\text{máx}}$ (+) Gasolina
0.01	8.30×10^{-3}
0.02	7.13×10^{-3}
0.03	7.12×10^{-3}
0.04	6.99×10^{-3}
0.05	6.81×10^{-3}
0.06	6.74×10^{-3}
0.07	6.63×10^{-3}
0.08	5.93×10^{-3}

Componente de velocidad axial (w) para $Re=0.63 \times 10^4$ (Gasolina), y distintas posiciones del impulsor (z_1).

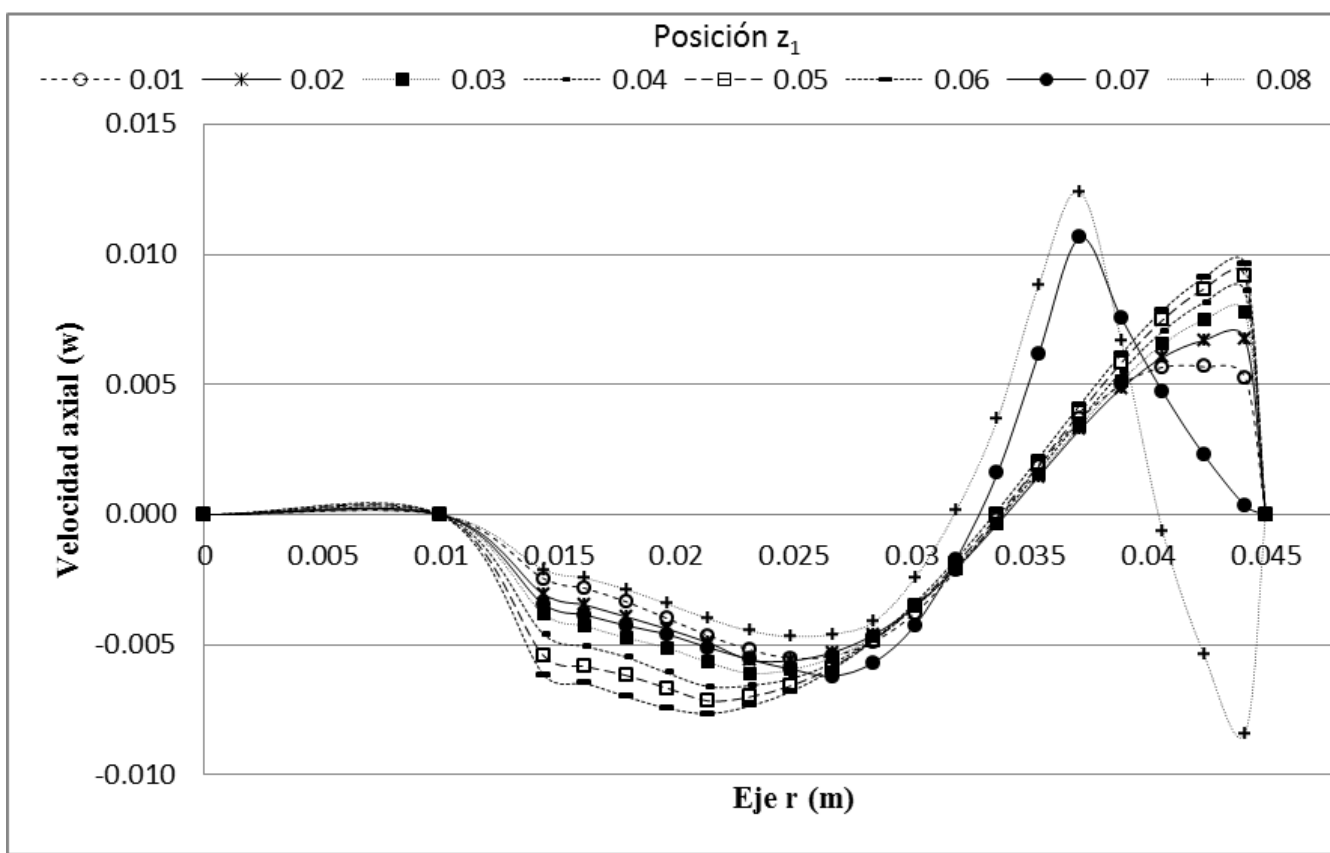
El valor máximo positivo de la componente de velocidad axial (w), alcanzó una magnitud máxima y mínima de 8.30×10^{-3} y 5.93×10^{-3} , respectivamente, es decir hay un decremento del 28.55%.



Posición z_1 (m)	$w_{\text{máx}}$ (+) Agua
0.01	7.92×10^{-3}
0.02	8.31×10^{-3}
0.03	8.72×10^{-3}
0.04	8.94×10^{-3}
0.05	9.06×10^{-3}
0.06	9.46×10^{-3}
0.07	11.85×10^{-3}
0.08	16.26×10^{-3}

Componente de velocidad axial (w) para $Re=2.74 \times 10^4$ (agua), y distintas posiciones del impulsor (z_1).

El valor máximo positivo de la componente de velocidad axial (w), alcanzó una magnitud mínima y máxima de 7.92×10^{-3} y 16.26×10^{-3} , respectivamente, es decir hay un aumento del 105.3%.



Posición z_1 (m)	$w_{\text{máx}}$ (+) Gasolina
0.01	5.68×10^{-3}
0.02	6.77×10^{-3}
0.03	7.77×10^{-3}
0.04	8.58×10^{-3}
0.05	9.17×10^{-3}
0.06	9.61×10^{-3}
0.07	10.64×10^{-3}
0.08	12.40×10^{-3}

Componente de velocidad axial (w) para $Re=0.63 \times 10^4$ (gasolina), y distintas posiciones del impulsor (z_1).

El valor máximo positivo de la componente de velocidad axial (w), alcanzó una magnitud mínima y máxima de 5.68×10^{-3} y 12.40×10^{-3} , respectivamente, es decir hay un aumento del 118.30%.

Conclusión

- Al variar la posición axial del impulsor de manera ascendente sobre el eje del cilindro se encontró que: la componente de velocidad radial positiva (u) disminuyó 24.94% para $Re=2.74 \times 10^4$ y 10.99% para $Re=0.63 \times 10^4$.
- La componente de velocidad axial positiva (w), por debajo del disco giratorio, disminuyó 22.85% y 28.55%, para los mismos números de Reynolds.
- La componente de velocidad axial positiva (w), por encima del impulsor, aumentó 105.3% y 118.30%, para los mismos números de Reynolds.
- Al tomar como referencia el número de Reynolds de 2.74×10^4 y compararlo con el de 0.63×10^4 , se encontró que: los valores máximos positivos de la componente de velocidad radial (u) se redujeron en promedio 10.83%; las magnitudes máximas positivas de la componente de velocidad axial (w), por debajo del disco impulsor, se redujeron en promedio 14.30%; y los valores máximos positivos de la componente de velocidad axial (w), por encima del disco impulsor, se redujeron en promedio 12.32%.

Estos resultados revelan la dependencia que tiene la posición axial del impulsor y el número de Reynolds en el desarrollo del flujo y muestran que la variación de estos parámetros no es proporcional al cambio en las componentes de velocidad y la función corriente.



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. BCIERMIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)