



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

Booklets



RENIECYT

Registro Nacional de Instituciones y
Empresas Científicas y Tecnológicas

1702902

CONACYT

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

Title: “Análisis transitorio del flujo tangencial en tanques horizontales con distintos deflectores”

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 | 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

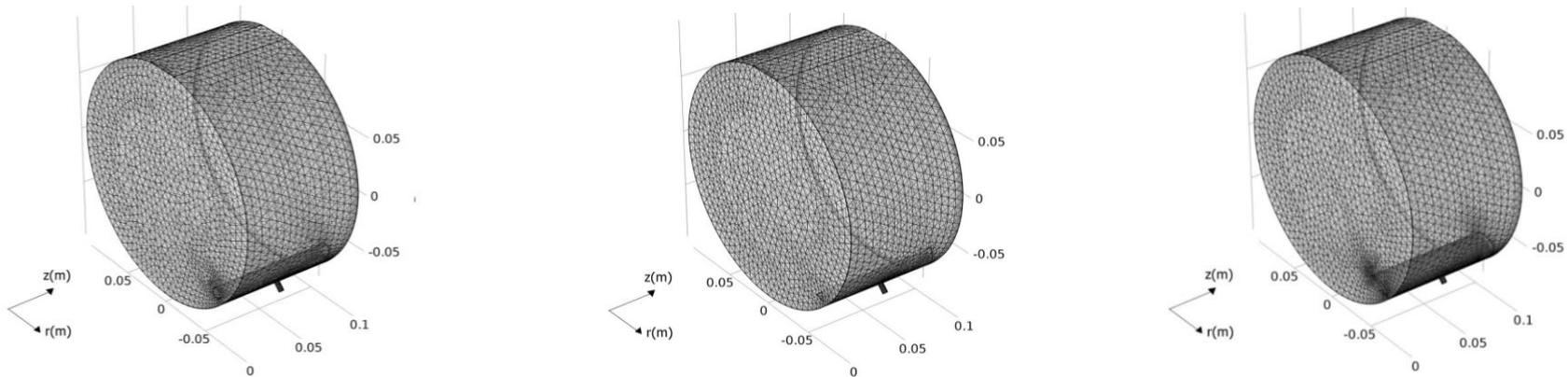
www.ecorfan.org

Holdings

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

Resumen

Se presenta el análisis numérico transitorio del flujo generado por la inyección tangencial de aire en un cilindro horizontal que contiene agua y cuya superficie superior está abierta a la atmósfera. El aire se introduce al tanque con una tobera y frente a ella se colocan tres tipos de deflector; con sección transversal circular, triangular y alabeada. El modelo matemático se describe con las ecuaciones de Navier-Stokes en coordenadas polares cilíndricas en estado transitorio y se resuelve con el método numérico del elemento finito, a través del software COMSOL MULTIPHYSICS. Los resultados se muestran a través de los campos de velocidad transitorios que se generan en la sección transversal del recipiente, que coinciden con la inyección de aire en el contenedor; además se analiza el comportamiento de la velocidad azimutal a lo largo del diámetro del cilindro, para diferentes tiempos.



Introducción

La inyección tangencial de gases en contenedores cilíndricos horizontales abiertos a la atmósfera es un fenómeno de gran interés debido a las aplicaciones industriales y de investigación involucradas. Tales aplicaciones van desde la inyección de aire, como en el convertidor Peirce-Smith (para la extracción de cobre), la inyección de gases en biorreactores, en sistemas de aireación, en tinas de hidromasaje médico-terapéutico o en lavadoras de inyección de burbujas. Sin embargo, aún no se cuenta con la suficiente información sobre los parámetros involucrados, tales como la duración del proceso de mezclado gas-líquido, los campos de velocidad generados por los fluidos involucrados, o la pérdida de cantidad de movimiento implicada en el fenómeno; todo lo anterior para casos específicos de configuración geométrica y de dirección del flujo. En la actualidad los programas de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), por sus siglas en inglés, han adquirido gran relevancia debido a la viabilidad de poder modelar fenómenos físicos complejos con gran precisión; además de que es una herramienta que permite reducir, de cierta forma, el costo y tiempo de experimentación. Esto es favorable ya que se consigue optimizar el proceso involucrado e incluso adicionar nuevas herramientas que incrementen la eficiencia y de nuevo reduzcan los gastos de investigación y desarrollo.

Modelo a analizar

El sistema a analizar consiste en un contenedor cilíndrico horizontal de radio $R1 = 100$ mm y longitud $L1 = 100$ mm. La parte superior de tanque se encuentra abierta a la atmósfera a través de una abertura de ancho $L2 = 28.2$ mm y a todo lo largo del recipiente. Para introducir radialmente el aire al sistema se colocó una tobera de radio $R2 = 2$ mm ubicada a la mitad de la longitud del cilindro y a un ángulo de $\theta_1 = 225^\circ$. Para distribuir el aire en el interior del tanque se colocaron deflectores de sección transversal: circular de radio $R3 = 5$ mm; triangular de lado $L3 = 8.66$ mm; y de perfil alabeado de radio $R4 = 5$ mm con longitud de $L4 = 18.90$ mm. Los deflectores se colocaron frente a la tobera a una distancia radial de $R5 = 97$ mm.

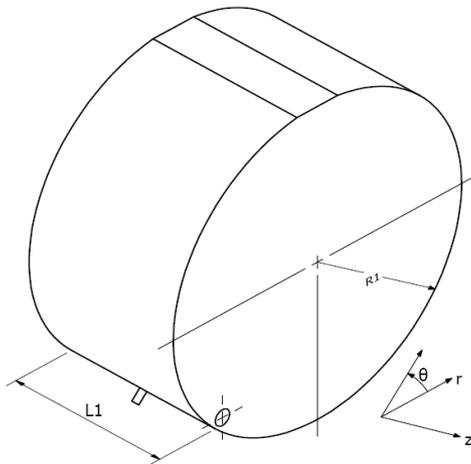


Figura 1 Vista en 3D del modelo físico

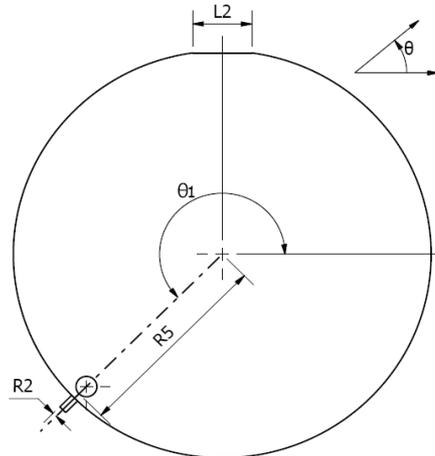


Figura 2 Vista en 2D del modelo físico

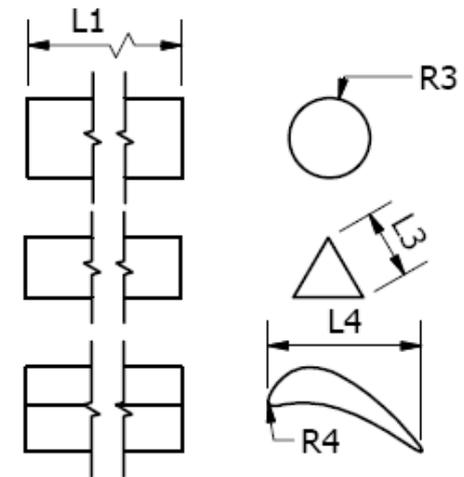


Figura 3 Deflectores empleados

Estado del arte

- Valencia A., Paredes [2004], estudiaron numéricamente la dinámica de fluidos dentro de un recipiente con agua, con la geometría de un convertidor, debido a la inyección de aire provocada por una tobera sumergida. La simulación tridimensional, dependiente del tiempo, se llevó a cabo con un modelo de volumen de fluido (VOF) y con el modelo de turbulencia estándar $k-\epsilon$, utilizando el software Fluent de CFD. Se hizo un análisis experimental del fenómeno con un tanque lleno de agua. Se compararon los resultados numéricos y experimentales de la velocidad de entrada del aire en el tanque que produce los resultados más favorables respecto a una buena mezcla en el recipiente con un mínimo de salpicaduras.
- Real C., Hoyos L. [2007], caracterizaron un convertidor con inyección de aire en el fondo, por medio de simulación numérica en 3D, utilizando el software Fluent. En el planteamiento del problema se contemplaron las ecuaciones de Navier-Stokes en flujo transitorio, para múltiples velocidades de inyección de aire, y en condiciones isotérmicas. En la simulación se utilizó el modelo $k-\epsilon$ de flujo turbulento para modelar la transferencia de cantidad de movimiento en el cilindro. En dicho trabajo se encontró que a medida que se aumentaba la velocidad del aire inyectado, se incrementaba la energía cinética de la mata de cobre de manera casi lineal.

- Chibwe D. K. et al. [2011], analizaron experimental y numéricamente el patrón de flujo y mezclado en un convertidor industrial Peirce-Smith, empleando un modelo en frío. Se llevaron a cabo simulaciones 2-D y 3-D del sistema de tres fases, utilizando el modelo de volumen de fluido (VOF) y el modelo de turbulencia k- ϵ , para tener en cuenta la naturaleza multifásica y de turbulencia del flujo. La capa de mata y escoria fueron simuladas con agua y queroseno respectivamente. La capa de escoria se tomó en cuenta debido a que crea una membrana en la superficie que ocasiona un fenómeno de recirculamiento. Los resultados revelaron que tanto la tasa de flujo volumétrico del aire como la presencia de la capa de escoria superpuesta tienen efectos profundos sobre la eficiencia de mezcla del convertidor.
- Morales D. [2011], empleó simulación numérica por medio de Fluent para realizar un estudio hidrodinámico de un convertidor Peirce-Smith, introduciendo en el convertidor perfiles geométricos que funcionan como difusores estáticos y que proporcionan a la mata de cobre un mezclado más homogéneo. Se verificó la factibilidad de la propuesta y se dejó abierta la posibilidad de ampliar la investigación y las áreas de implementación. En el estudio se concluyó que la formación de remolinos cerca de las paredes del material cerámico, del que está hecho el convertidor, reduce la eficiencia del mezclado, y acelera el desgaste del material del convertidor.

Formulación matemática

Las expresiones que describen el movimiento transitorio de un fluido Newtoniano, viscoso, en régimen turbulento, bifásico, en el interior de un depósito cilíndrico, son las ecuaciones de continuidad y conservación la cantidad de movimiento de Reynolds-Navier-Stokes para flujo turbulento.

Para la fase líquida:

$$\begin{aligned} & \varphi_l \rho_l \frac{\partial \vec{V}_l}{\partial t} + \varphi_l \rho_l \vec{V}_l \cdot \nabla \vec{V}_l \\ & = -\nabla P + \nabla \left[\varphi_l (\mu_l + \mu_T) \left(\nabla \vec{V}_l + (\nabla \vec{V}_l)^T \right) \right] \\ & \quad + \varphi_l \rho_l \vec{g} + \vec{F} \end{aligned}$$

Para bajas concentraciones de gas, la fracción de volumen líquido, φ_l , es aproximadamente uno, entonces:

$$\rho_l \nabla \vec{V}_l = 0$$

La ecuación para la fase gaseosa es:

$$\frac{\partial \rho_g \varphi_g}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_g \varphi_g \vec{V}_g) = -m_{gl}$$

Como aproximación, se considera que no hay transferencia de masa entre la fase líquida y gas, por lo que $m_{gl}=0$. Entonces la ecuación queda de la siguiente forma:

$$\frac{\partial \rho_g \phi_g}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_g \phi_g \vec{V}_g) = 0$$

La densidad del gas se calculó a partir de la ley de gas ideal:

$$\rho_g = \frac{PM_w}{RT}$$

Donde M_w es el peso molecular de la burbuja de gas, $R=8.314$ J/mol K es la constante de gas ideal y $T=293$ K la temperatura del gas.

La velocidad del gas se puede calcular a partir de la ecuación $\vec{V}_g = \vec{V}_l + \vec{V}_{des}$, donde \vec{V}_{des} es la velocidad de deslizamiento entre el agua y el aire. El balance presión-arrastre se emplea para calcular \vec{V}_{des} . El modelo se basa en la suposición de que las fuerzas de presión de las burbujas se equilibran con la fuerza de arrastre:

$$\frac{3C_d}{4d_b} \rho_l |\vec{V}_{des}| \vec{V}_{des} = -\nabla P$$

Donde $d_b=0.001$ m es el diámetro de la burbuja y C_d es el coeficiente de arrastre (adimensional). Debido a que el diámetro de burbuja es inferior a 0.002 m, se usó el modelo de coeficiente de arrastre de Hadamard-Rybczynski:

$$C_d = \frac{16}{Re}$$

dónde:

$$Re = \frac{d_b \rho_l |\vec{V}_{des}|}{\mu_l}$$

Para las condiciones de frontera se asumió en las paredes del tanque y del deflector la condición de no deslizamiento $\vec{V}_l=0$. A la entrada, el flujo de gas es $-\vec{n}\cdot\vec{N}_g=\vec{V}_{in}\cdot\rho_{in}$ donde $-\vec{n}$ es un vector normal a la sección de entrada que “apunta” al interior del tanque. \vec{V}_{in} y ρ_{in} son la velocidad y densidad del gas a la entrada con valores 0.1 m/s y 0.973 kg/m³, respectivamente. Por otro lado, a la salida del gas se consideró la condición de deslizamiento $\vec{n}\cdot\vec{V}_l=0$, la cual predefine la condición de no penetración del fluido pero si del gas.

Las ecuaciones se resuelven para las variables \vec{V}_l y P. El campo de velocidades \vec{V}_l posee tres componentes: la velocidad radial u, la velocidad tangencial o azimutal v y la velocidad axial w.

Resultados

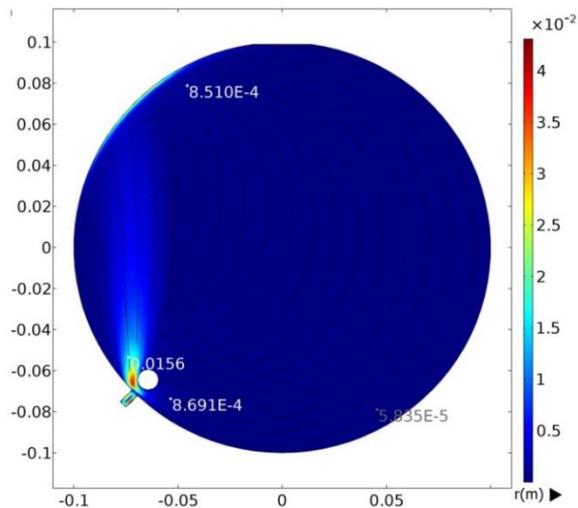


Figura 7 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector circular y $t = 1$ s

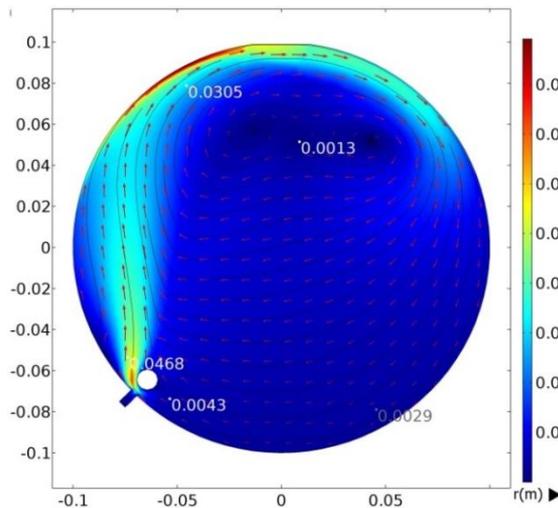


Figura 8 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector circular y $t = 10$ s

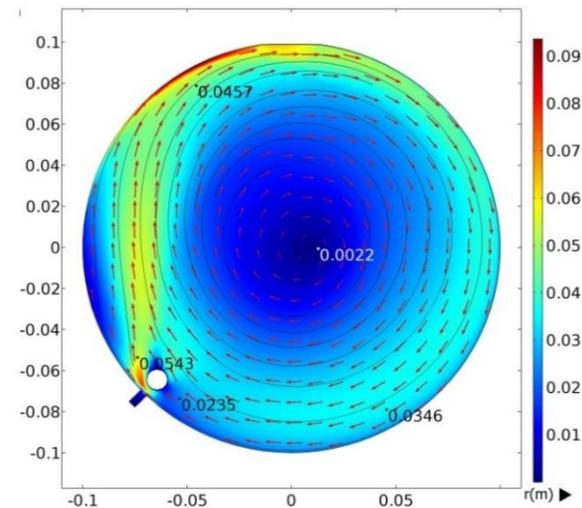


Figura 9 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector circular y $t = 90$ s

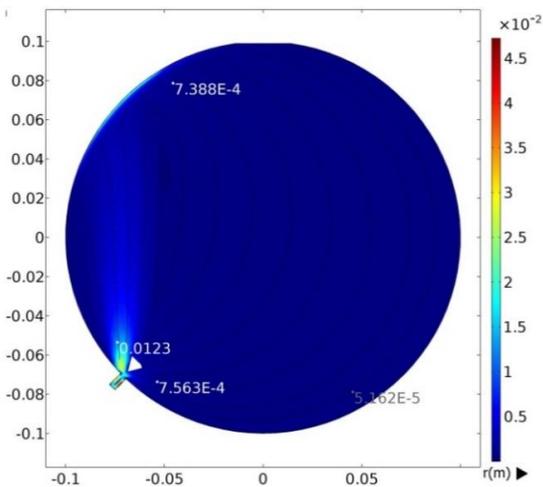


Figura 10 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector triangular y $t = 1$ s

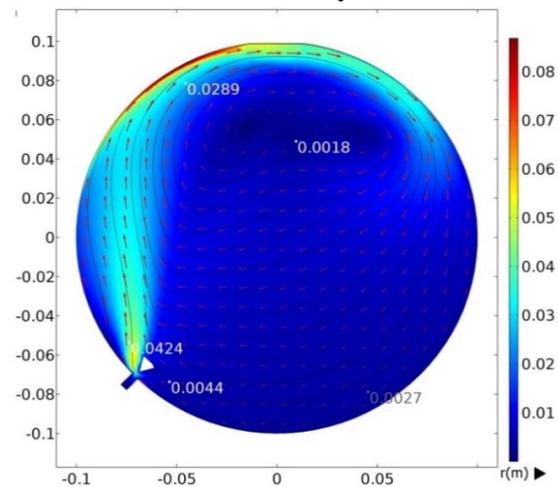


Figura 11 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector triangular y $t = 10$ s

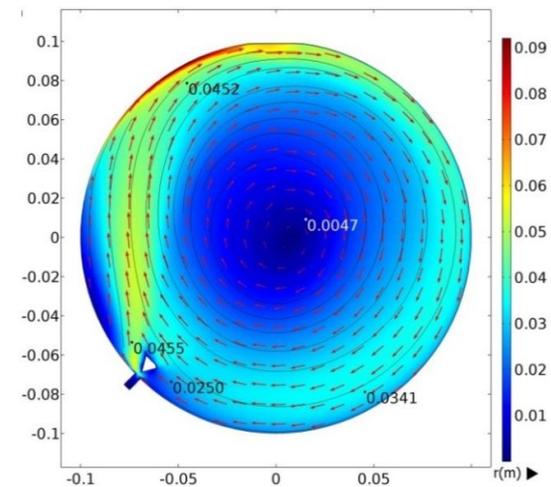


Figura 12 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector triangular y $t = 90$ s

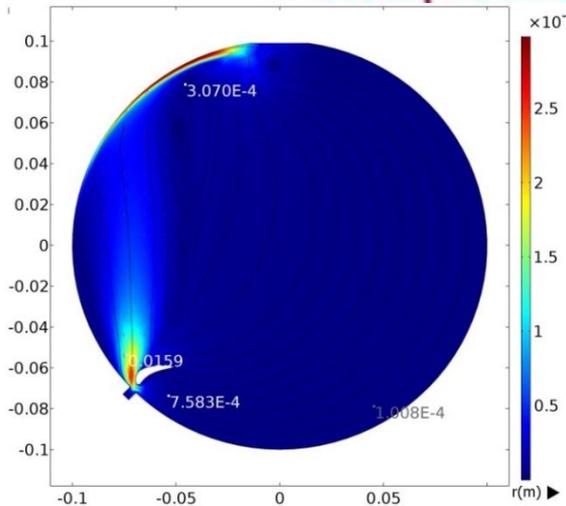


Figura 13 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector alabeado y $t = 1$ s

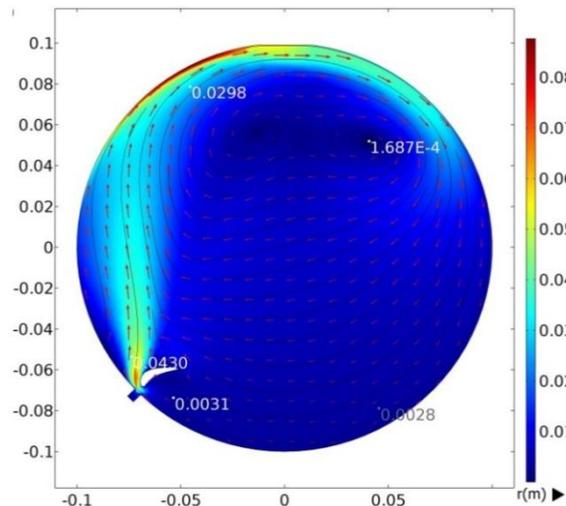


Figura 14 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector alabeado y $t = 10$ s

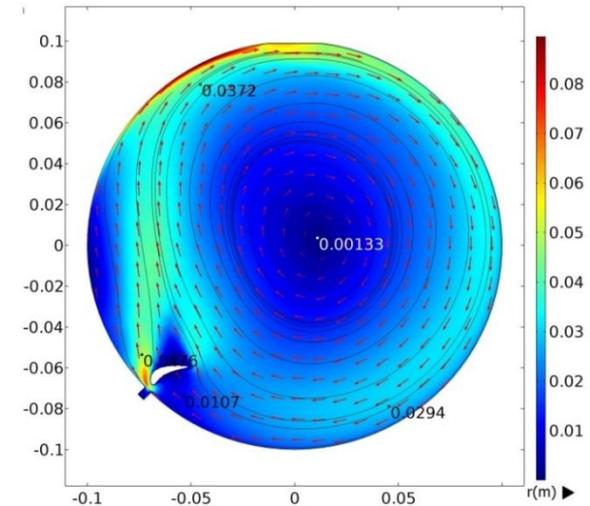


Figura 15 Campo de velocidades (\vec{V}_1) con deflector alabeado y $t = 90$ s

Tmpo.	Circular	Triangular	Alabeado
1 s	+15.60x10 ⁻³ +0.869x10 ⁻³	+12.30x10 ⁻³ +0.756x10 ⁻³	+15.90x10 ⁻³ +0.758x10 ⁻³
10 s	+30.50x10 ⁻³	+28.90x10 ⁻³	+29.8x10 ⁻³
90 s	+45.70x10 ⁻³	+45.20x10 ⁻³	+37.2x10 ⁻³

Tabla 1. Valores del vector velocidad (\vec{V}_1), m/s, para posiciones específicas en los tres sistemas

Haciendo una comparación de los valores del vector velocidad, en la posición superior izquierda del recipiente, para el tiempo de 90 s, de los sistemas con deflector triangular y alabeado respecto al circular, se observó una disminución del 1.09 y 18.59%, respectivamente.

Para hacer una comparación más precisa sobre el comportamiento del fluido en el depósito, se hicieron gráficas de la componente de velocidad azimutal (v) en la línea horizontal que va desde 0° hasta 180° , para los tiempos de 1, 10 y 90 segundos y para los tres deflectores.

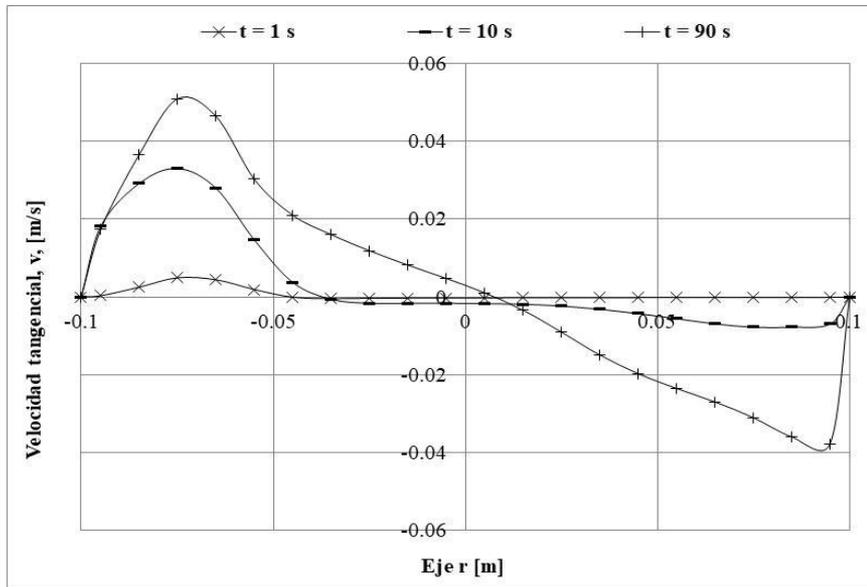


Figura 16 Componente de velocidad tangencial (v) para el sistema con deflector circular

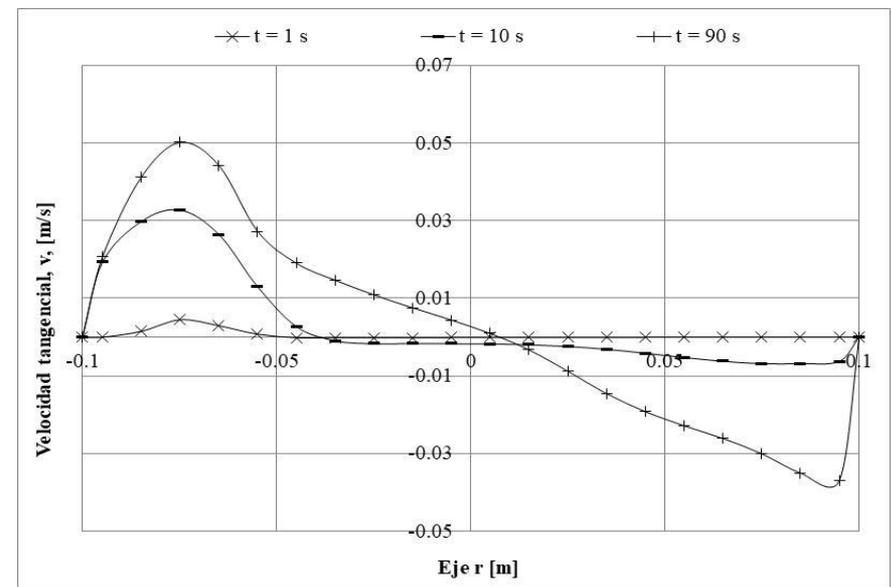


Figura 17 Componente de velocidad tangencial (v) para el sistema con deflector triangular

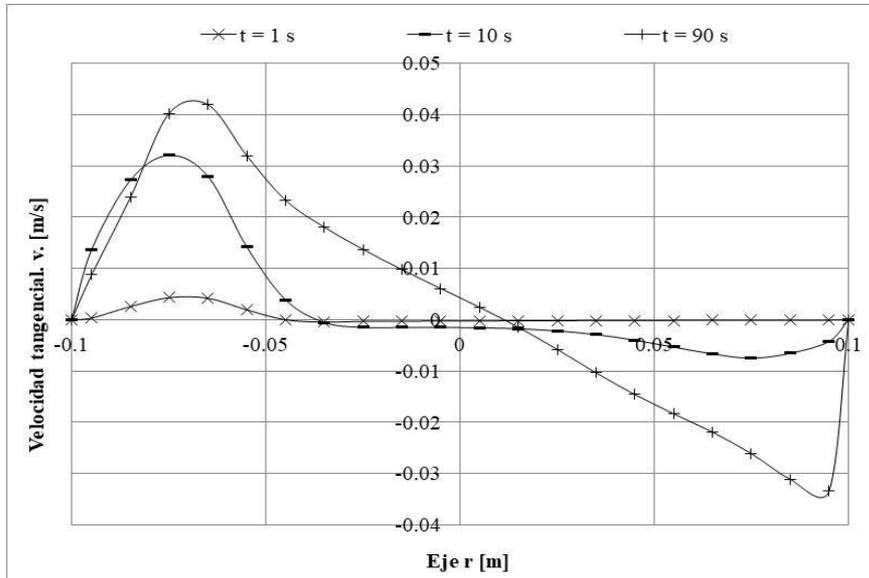


Figura 18 Componente de velocidad tangencial (v) para el sistema con deflector alabeado

Tmpo.	Circular	Triangular	Alabeado
1 s	$+4.95 \times 10^{-3}$	$+4.44 \times 10^{-3}$	$+4.29 \times 10^{-3}$
10 s	$+33.04 \times 10^{-3}$ -6.95×10^{-3}	$+32.74 \times 10^{-3}$ -6.26×10^{-3}	$+32.06 \times 10^{-3}$ -6.55×10^{-3}
90 s	$+50.94 \times 10^{-3}$ -37.75×10^{-3}	$+50.15 \times 10^{-3}$ -36.96×10^{-3}	$+41.93 \times 10^{-3}$ -33.45×10^{-3}

Tabla 2. Valores máximos de la velocidad tangencial (v), m/s, para los tres deflectores

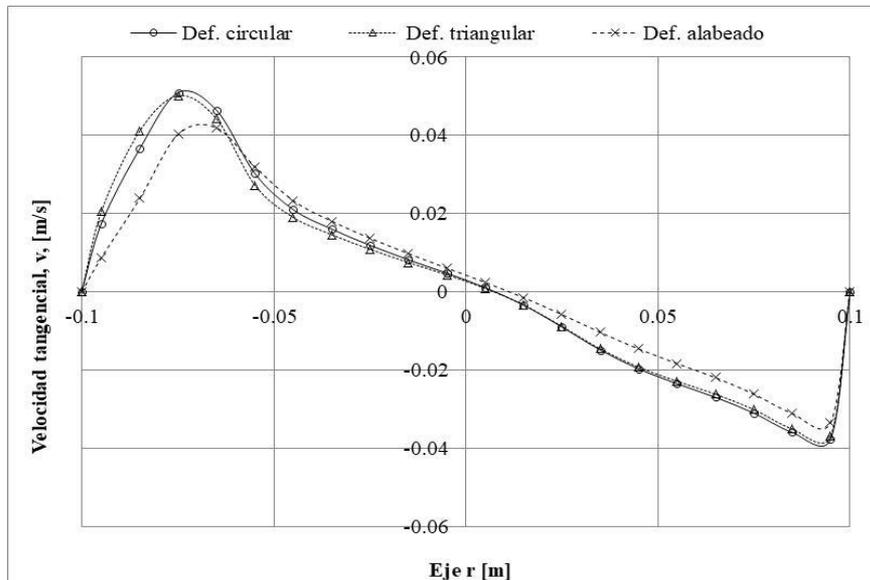


Figura 19 Componente de velocidad tangencial (v) para el tiempo $t = 90$ s y los tres deflectores

Comparando los valores máximos positivos de la componente de velocidad tangencial de los sistemas con deflector triangular y alabeado, respecto al circular, se encontró una disminución del 1.55 y 17.69 %, respectivamente. Es decir, el flujo con mayor intensidad se tiene con el deflector circular, seguido del triangular y por último el alabeado.

Conclusiones

En este trabajo se determinó la distribución de velocidades transitoria generada por la inyección tangencial de aire en un contenedor cilíndrico horizontal que contiene agua, que está abierto a la atmósfera, y al cual se le colocaron deflectores de sección transversal: circular, triangular y alabeada, enfrente de la tobera.

Se encontró que en los primeros segundos del fenómeno el flujo bordea a los deflectores, predominantemente en la zona lateral izquierda, provocando el movimiento del fluido en esa dirección.

Para el tiempo de 10 segundos se formó un flujo circulatorio en sentido horario alrededor del recipiente y se produjo un flujo secundario en la parte superior del tanque.

Cuando el proceso alcanzó el estado permanente, el flujo secundario desapareció y se formó un movimiento circulatorio bien definido con su centro al lado derecho del centro geométrico, esto último ocasionado por la posición de la tobera que introdujo el aire al depósito.

Al analizar los campos del vector velocidad en la parte superior de los sistemas, en estado permanente, se encontró que el valor más alto fue el del contenedor con deflector circular seguido del triangular y el alabeado.

Al comparar dichas magnitudes entre los recipientes con deflector del triangular y alabeado contra el circular se encontró una disminución del 1.09 y 18.59 %, respectivamente.

Al examinar la gráfica en estado permanente de la componente de velocidad tangencial se observó, como en el análisis anterior, que el valor más alto fue el del sistema con deflector circular, seguido del triangular y el alabeado. Al hacer una comparación de las magnitudes máximas positivas de la velocidad tangencial para los depósitos con deflector triangular y alabeado, respecto al circular, se encontró una reducción del 1.55 y 17.69 %, respectivamente.

Los resultados anteriores indican que el deflector circular es el que tiene mejor desempeño en la distribución del movimiento del fluido en el interior del tanque, aunque la diferencia que hubo con el deflector triangular fue mínima. La forma y la posición en que se colocó el deflector alabeado provocaron que en su parte posterior el movimiento del fluido fuera despreciable, causando que el flujo en el recipiente fuera menor que el de los otros dos casos.

Aunque se logró un avance con este estudio, aún falta mayor análisis para considerar otras variables, tales como el cambio de la posición del deflector alabeado, otros rangos de velocidad y distintos tipos de fluido involucrados.



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)