



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

Title: Flujo y números de Nusselt en cavidades con multi-obstrucciones

Author: Arturo LIZARDI RAMOS

Editorial label ECORFAN: 607-8324
BCIERMIMI Control Number: 2017-02
BCIERMIMI Classification (2017): 270917-0201

Pages: 18

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

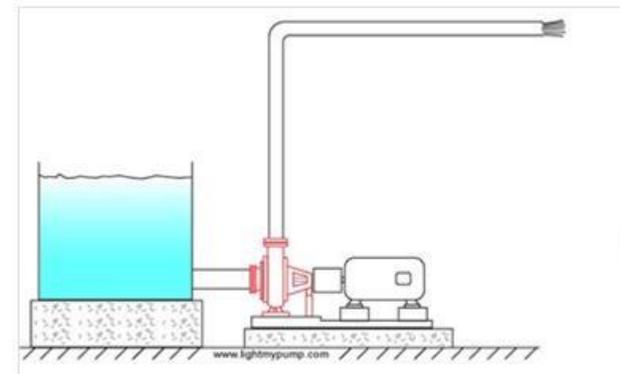
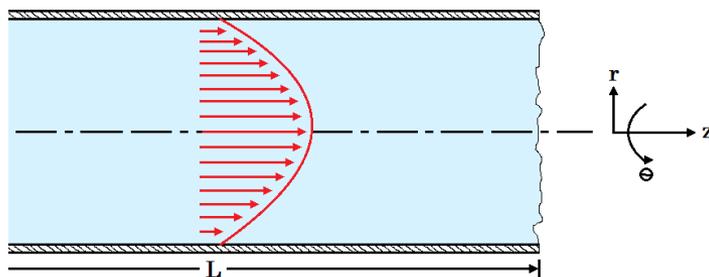
Bolivia	Honduras	China	Nicaragua
Cameroon	Guatemala	France	Republic of the Congo
El Salvador	Colombia	Ecuador	Dominica
Peru	Spain	Cuba	Haití
Argentina	Paraguay	Costa Rica	Venezuela
Czech Republic			

Resumen

Se presenta el análisis numérico del flujo en convección natural generado en el interior de una cavidad rectangular cerrada llena de agua, con obstrucciones en su interior. La cavidad, con relación geométrica alto/ancho=1/2, se compone de paredes verticales isotérmicas y horizontales adiabáticas. La pared vertical izquierda se encuentra a una temperatura alta y la pared opuesta a una temperatura baja; y se manejan tres casos: cavidad sin obstrucciones en el interior y con tres obstrucciones, rectangulares y semicirculares, en la parte inferior del sistema. Se modelan y resuelven numéricamente las ecuaciones de conservación de masa, momentum y energía para flujo permanente, bidimensional, junto con las condiciones de frontera apropiadas, empleando el método numérico del elemento finito, a través del software COMSOL MULTIPHYSICS.

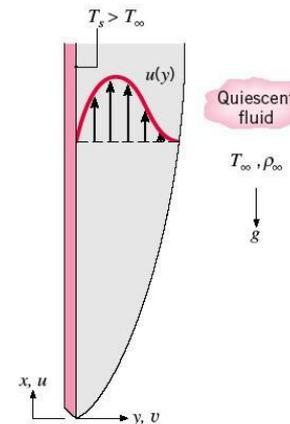
Introducción

El movimiento de un fluido en general es promovido por fuerzas que se dividen en fuerzas de superficie y/o fuerzas de cuerpo. Como ejemplo de flujos que resultan de las fuerzas que actúan sobre la superficie de un volumen de control, están los flujos a través de tubos, flujos del tipo capa límite, etc. Las expresiones para describir el campo de fuerzas que actúan en la frontera del flujo, están desacopladas de las ecuaciones del flujo de fluido. Matemáticamente el campo de fuerzas puede obtenerse sin resolver las ecuaciones de Navier-Stokes, lo cual se presenta por un sistema desacoplado, facilitando simplificaciones importantes de aplicación práctica.



Introducción

Entre los flujos motivados por fuerzas de cuerpo, se tienen los fluidos que caen y el vaciado de depósitos, donde la fuerza de cuerpo es proporcionada por la gravedad. En convección natural, la fuerza generadora del flujo es proporcionada por una fuerza de cuerpo debida a una diferencia de densidad dentro del fluido, causada por un gradiente de temperatura o por un gradiente de concentración dentro del sistema. La fuerza que causa el flujo se encuentra acoplada entre el flujo y otros procesos de transporte. Este acoplamiento entre los procesos de transporte hace que el estudio de este tipo de flujo sea altamente complicado.



Introducción

El propósito de este trabajo es analizar el campo de flujo, por convección natural, que se genera en una cavidad rectangular, llena de agua, sin protuberancias en su interior y con tres protuberancias semicirculares y rectangulares, ubicadas simétricamente en la parte inferior del sistema. Para hallar la solución, se resuelven las ecuaciones de conservación de la masa, momentum y energía, para flujo permanente, bidimensional, junto con las condiciones de frontera, usando un algoritmo con base en el método numérico de elementos finitos, a través del software COMSOL MULTIPHYSICS, método que ha demostrado ser efectivo y rápido en problemas de transferencia de calor por convección libre.

Modelo a analizar

El sistema físico consiste en una cavidad rectangular de altura $H=8$ cm y anchura $E=16$ cm. La pared vertical izquierda se encuentra a una temperatura alta, T_c , y la derecha a una temperatura baja, T_f . Las paredes superior e inferior se consideran adiabáticas. En el estudio se manejan tres casos: cavidad sin obstrucciones en su interior y con tres obstrucciones rectangulares (0.75 cm de alto por 1.25 cm de ancho) y semicirculares (0.625 cm de radio), repartidas simétricamente en el fondo.

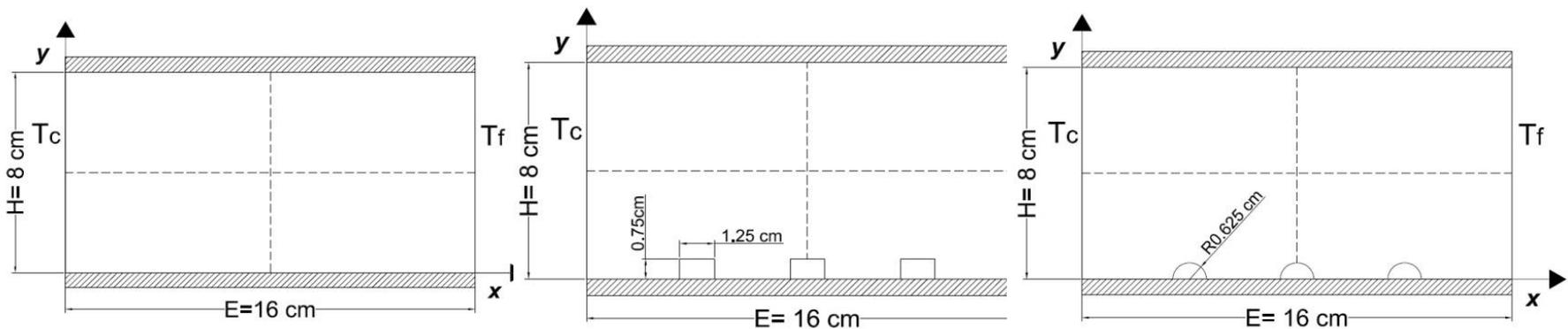


Fig. 1 Representación del problema y ejes de referencia para el análisis

Estado del arte

- Kaviany (1984), analizó numéricamente los campos de temperatura y líneas de corriente en una cavidad cuadrada, llena de aire, con una protuberancia semicircular localizada simétricamente en el fondo. Las paredes verticales se consideraron a temperatura constante, con el lado izquierdo a mayor temperatura que el derecho. Las superficies superior e inferior se trataron como adiabáticas. Se muestran resultados del número de Nusselt y de los valores máximos de la función corriente para un rango del número de Rayleigh de $10^1 < Ra < 10^4$ y para radios de la protuberancia de 0, 0.2 y 0.4.
- Deng (2008), analizó numéricamente la convección natural laminar en una cavidad cuadrada bidimensional, llena de aire, de longitud H, con dos y tres pares de fuentes de calor en las paredes laterales verticales. El análisis se centra en los efectos del tamaño y la disposición de las fuentes y sumideros sobre las características de flujo y la transferencia de calor. Los resultados se presentan a través de los campos de las líneas de corriente, líneas isotérmicas y números de Nusselt promedio. Se encontró que la transferencia de calor total está estrechamente relacionada con el número de remolinos en el recinto.

Estado del arte

- Wang y Pepper (2009), analizaron la convección natural laminar en canales verticales con obstrucciones semicirculares y rectangulares en el interior. Utilizaron un algoritmo de elementos finitos que emplea la norma L2, basado en un estimador de error a posteriori. Los resultados muestran los campos de temperatura y líneas de corriente para diferentes parámetros (número de Rayleigh, relación geométrica y ubicación de las obstrucciones) para canales lisos y obstruidos.
- Liu, et al. (2014), estudiaron experimental y numéricamente el flujo en convección natural en una cavidad rectangular, llena de agua, con aletas en las paredes laterales. Se colocaron dos aletas horizontales de diferentes longitudes a diferentes alturas a lo largo de cada una de las paredes laterales de la cavidad. La simulación numérica correspondiente logró una buena concordancia con el experimento. Además, se reveló numéricamente que el flujo convectivo a través de la cavidad se mejora significativamente debido a la presencia de las aletas. La transferencia de calor se mejora hasta en un 17.1% sobre el rango de número de Rayleigh investigado.

Estado del arte

- Malekshah y Salari (2017), analizaron experimental y numéricamente la convección natural tridimensional en un prisma rectangular lleno de dos fluidos inmiscibles, agua y aire, a diferentes relaciones de altura. En una de las paredes laterales se coloca un calentador de flujo constante y en otras paredes se coloca material aislante. Las paredes superior e inferior se fijan a una temperatura fría constante. Las mediciones se realizan para diferentes relaciones de altura líquida $AR=0.5, 0.625, 0.75$ y 0.875 y números de Rayleigh de $Ra=1.4 \times 10^8, 2.79 \times 10^8, 6.98 \times 10^8$ y 8.37×10^8 . Se presentan las mediciones y los resultados numéricos de las distribuciones de temperatura entre las paredes verticales y horizontales para diferentes relaciones de altura de interfaz de fluido y números de Rayleigh, presentándose concordancia.

Formulación matemática

El planteamiento matemático está definido por las ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y energía. En el estudio se emplea la aproximación de Boussinesq que considera que las propiedades físicas del fluido son independientes de la temperatura. La densidad del fluido, ρ , se toma como constante, excepto en el término de fuerza de flotación. En este último término la densidad se considera como una función lineal de la temperatura. Bajo las condiciones anteriormente mencionadas, las ecuaciones de movimiento para flujo laminar convectivo, considerando capa límite son:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$\rho_o \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

$$\rho_o \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial P}{\partial y} +$$

$$\rho_o g \beta (T - T_o) + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

$$\rho_o C \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$$

Formulación matemática

Las condiciones de frontera para los sistemas son:

$x=0$	$u=v=0$	$T=T_c$
$x=E$	$u=v=0$	$T=T_f$
$y=0$	$u=v=0$	$\frac{\partial T}{\partial y} = 0$
$y=H$	$u=v=0$	$\frac{\partial T}{\partial y} = 0$

Por otro lado, para el cálculo del número de Rayleigh y del número de Nusselt promedio se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$Ra = \frac{g \beta (T_c - T_f) E^3 Pr}{\nu^2}$$

$$Nu_{(y)} = - \left. \frac{\partial \theta}{\partial X} \right|_{X=0}$$

$$Nu = \int_0^1 - \left(\frac{\partial \theta}{\partial X} \right)_{X=0} dY$$

Resultados

En las siguientes figuras se muestran los resultados de los campos de velocidad, en m/s, para las cavidades: sin obstrucción y con obstrucción rectangular y semicircular, respectivamente.

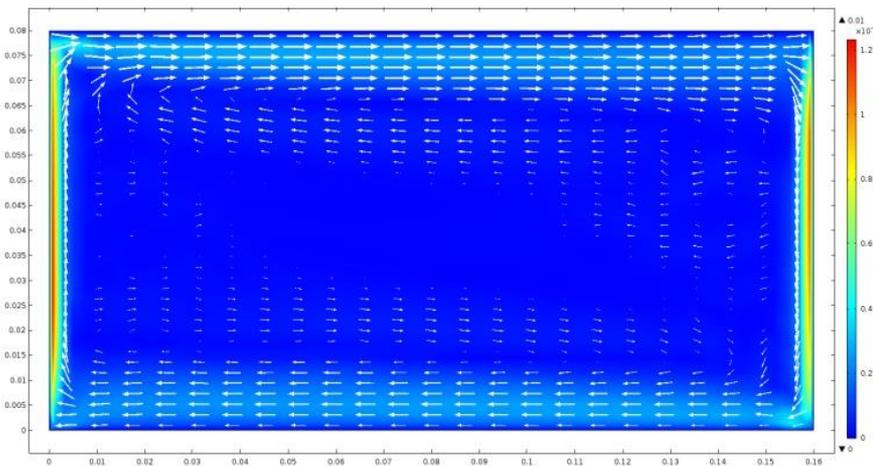


Fig. 2 Campo de velocidades, V , para cavidad sin obstrucciones

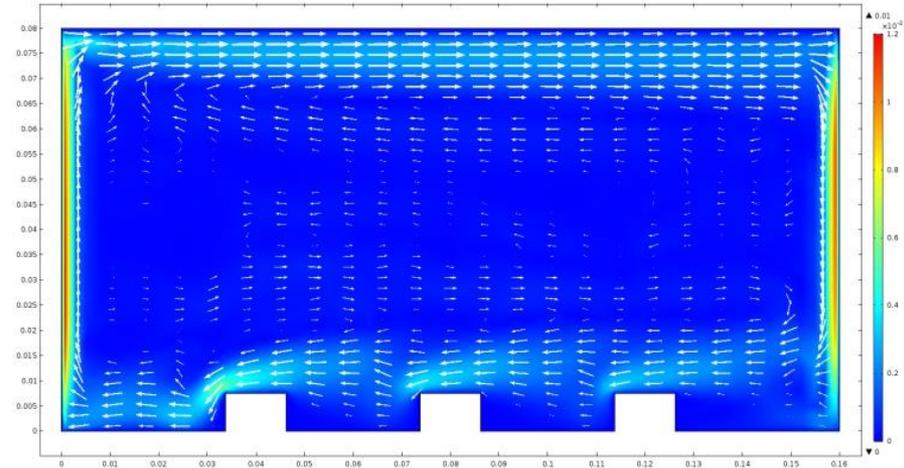


Fig. 3 Campo de velocidades, V , para cavidad con obstrucción rectangular

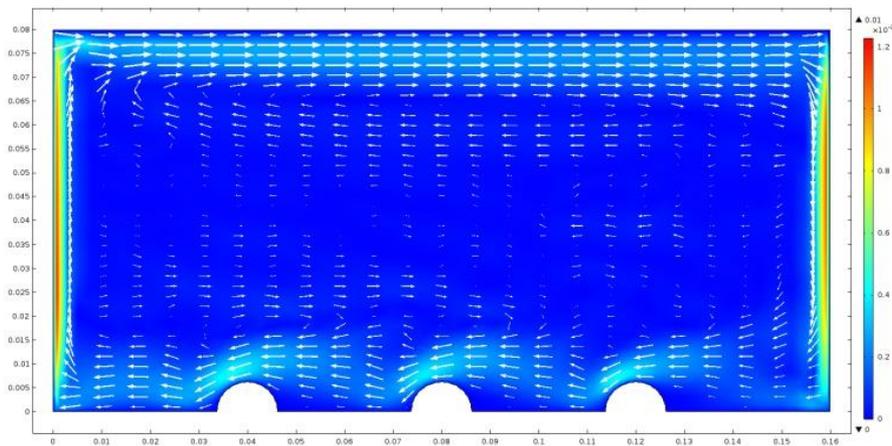


Fig. 4 Campo de velocidades, V , para cavidad con obstrucción semicircular

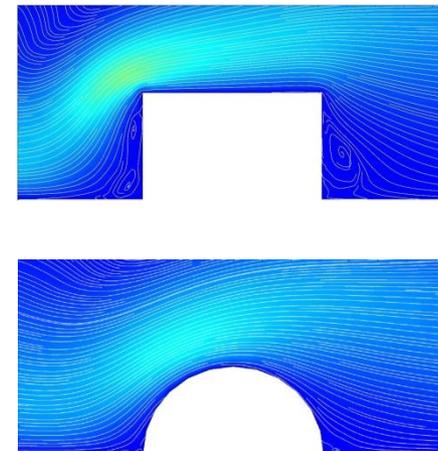


Fig. 5 Campo de velocidades, V , en las obstrucciones cercanas a la pared caliente

Para hacer una comparación del desempeño del flujo en las cavidades estudiadas, se analizaron las componentes de velocidad horizontal (u) y vertical (v) en la posición E/2 y H/2, respectivamente.

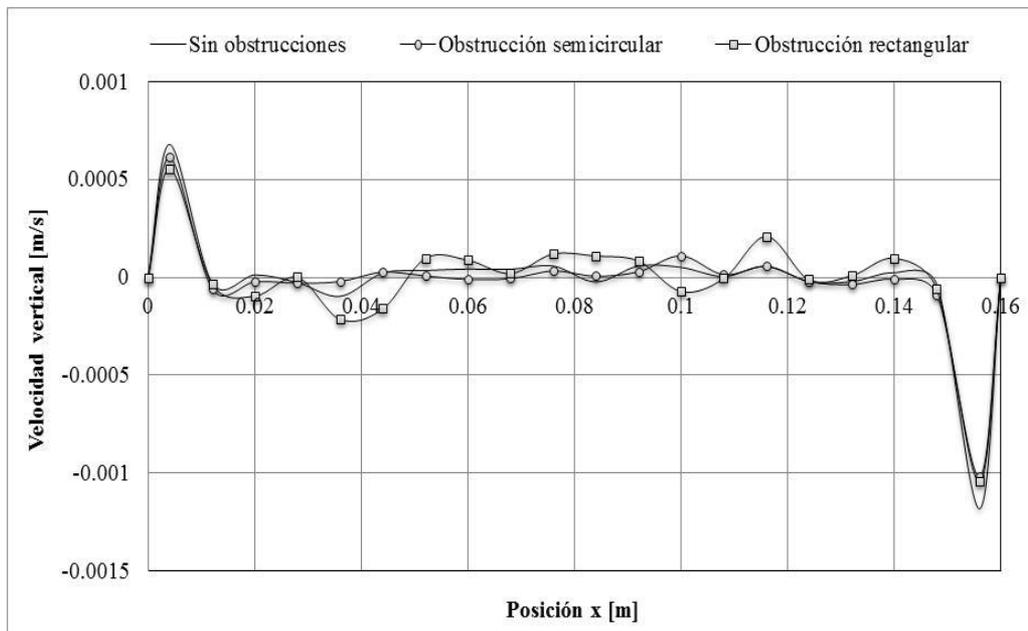


Fig. 6 Distribución de velocidad vertical, v, (m/s)

Sin protuberancias:

Máximo positivo = $+6.79 \times 10^{-4}$ m/s

Máximo negativo = -11.81×10^{-4} m/s

Protuberancias rectangulares:

Máximo positivo = $+5.54 \times 10^{-4}$ m/s

Máximo negativo = -10.40×10^{-4} m/s

Protuberancias semicirculares:

Máximo positivo = $+6.13 \times 10^{-4}$ m/s

Máximo negativo = -10.16×10^{-4} m/s

Haciendo la comparación se encontró que el valor máximo positivo de la velocidad vertical se redujo: 18.41 y 9.72%, respectivamente.

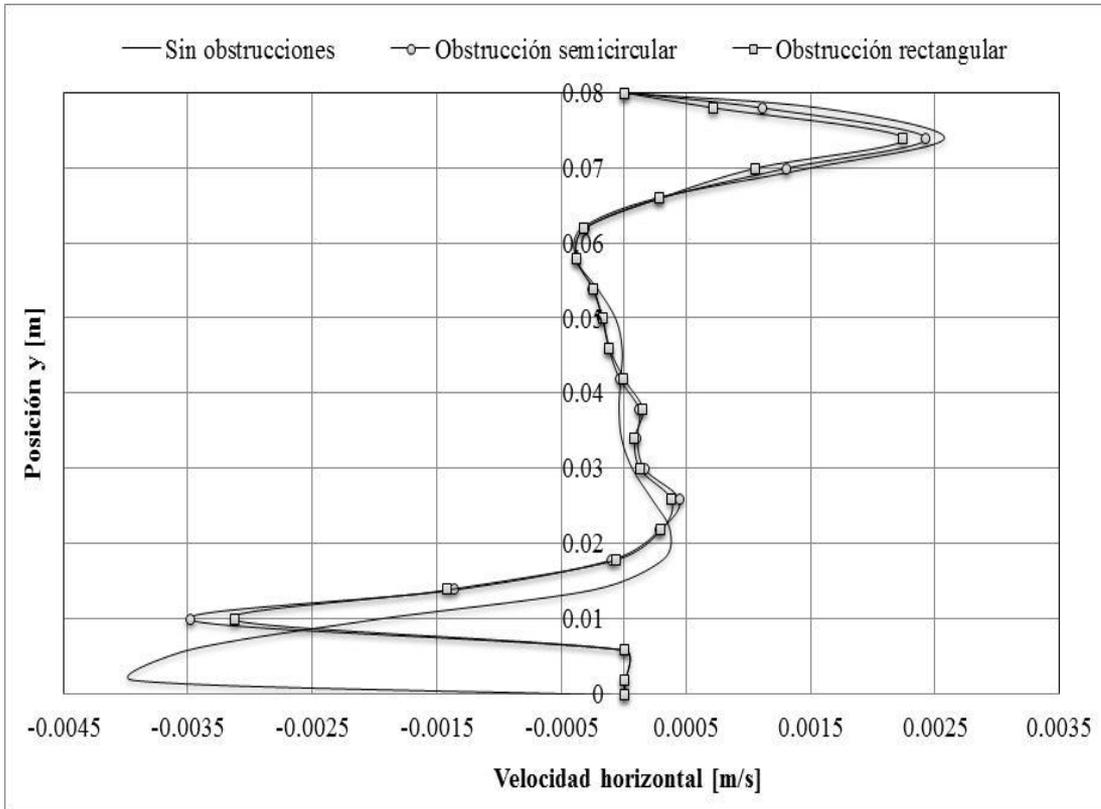


Fig. 7 Distribución de velocidad horizontal, u , (m/s)

Sin protuberancias:

Máximo positivo = $+2.57 \times 10^{-3}$ m/s

Máximo negativo = -3.93×10^{-3} m/s

Protuberancias rectangulares:

Máximo positivo = $+2.24 \times 10^{-3}$ m/s

Máximo negativo = -3.13×10^{-3} m/s

Protuberancias semicirculares:

Máximo positivo = $+2.42 \times 10^{-3}$ m/s

Máximo negativo = -3.48×10^{-3} m/s

Haciendo la comparación se encontró que los valores máximos positivos de la velocidad horizontal disminuyeron: 12.84 y 5.83%, respectivamente.

Los números de Nusselt promedio para los tres casos se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 2 Números de Nusselt promedio

	Sin obstrucc.	Obstrucc. semicircular	Obstrucc. rectangular
Nu	32.46	31.64	30.61

La presencia de las obstrucciones genera que en la convección térmica se presente una disminución del número de Nusselt promedio. Lo anterior muestra que hay una correspondencia entre el flujo convectivo y éste parámetro adimensional. Comparando los resultados de las cavidades con obstrucciones rectangulares y semicirculares con la que no tiene obstrucciones, se encontró que los valores del número del Nusselt promedio disminuyeron: 5.70 y 2.62%, respectivamente.

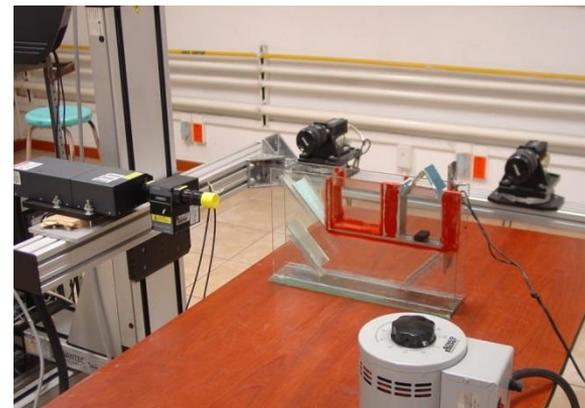
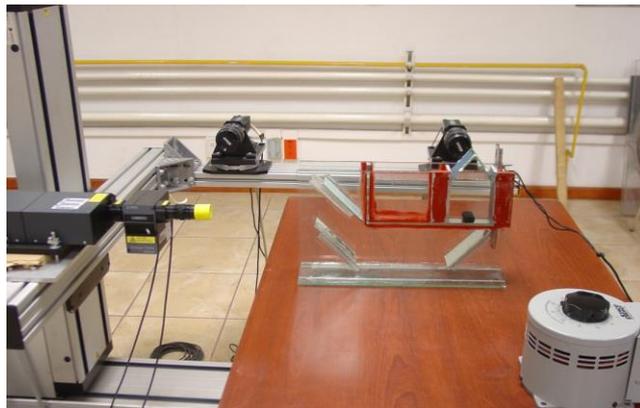
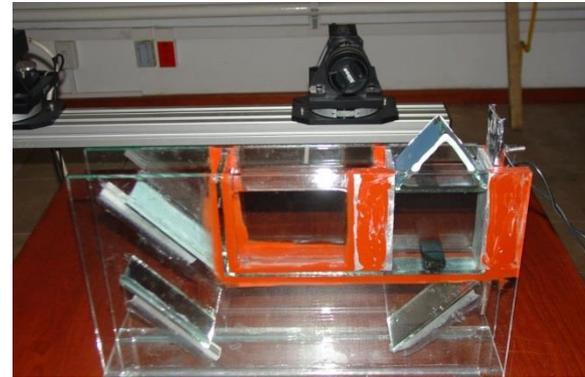
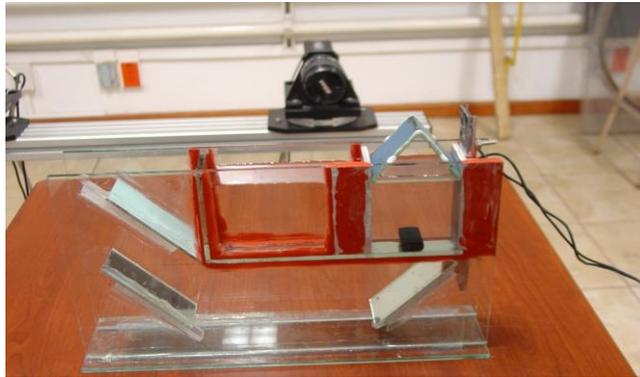
Conclusiones

- En este trabajo se han presentado los resultados numéricos del flujo en convección natural generado en el interior de una cavidad rectangular, llena de agua, sin obstrucciones en su interior y con obstrucciones rectangulares y semicirculares ubicadas simétricamente en el fondo.
- La solución numérica se hizo con el método del elemento finito, a través del software COMSOL MULTIPHYSICS.
- Se encontró que en la cavidad sin obstrucciones el flujo se mueve libremente por el efecto convectivo que generan las paredes isotérmicas; pero al colocar las obstrucciones, el flujo disminuye por las protuberancias impuestas, presentándose mayor resistencia en las obstrucciones rectangulares y después en las semicirculares.
- Los valores tanto de la componente de velocidad vertical como de la horizontal se ven disminuidos al colocar las obstrucciones, encontrándose el valor más alto en la cavidad sin obstrucciones y el más bajo en las obstrucciones rectangulares.

Conclusiones

- Al analizar el número de Nusselt promedio se encontró una correspondencia con el flujo dentro de la cavidad, es decir, se encontró el valor más alto en la cavidad sin obstrucciones y el valor más bajo en la cavidad con obstrucciones rectangulares.
- Al comparar los resultados de los sistemas con obstrucciones rectangulares y semicirculares contra el que no tiene obstrucciones, se encontró que: a) el valor máximo positivo de la componente de velocidad vertical se redujo: 18.41 y 9.72%, respectivamente; b) el valor máximo positivo de la componente de velocidad horizontal disminuyó: 12.84 y 5.83%, respectivamente; y c) el número del Nusselt promedio se redujo: 5.70 y 2.62%, 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. BCIERMIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)