



UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

**ESTUDIO TÉRMICO (TEÓRICO-EXPERIMENTAL) EN UNA
HABITACIÓN A ESCALA CON UNA CHIMENEA SOLAR COMO
ALTERNATIVA DE VENTILACIÓN**

TITULACIÓN POR ARTÍCULOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

Doctor en Ciencias de la Ingeniería

PRESENTA:

M.C. ADOLFO VAZQUEZ RUIZ

HERMOSILLO, SONORA

SEPTIEMBRE DE 2020

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Posgrado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Química

AUTORIZACIÓN DEL EXAMEN DE GRADO

11 de Octubre de 2021.

Por medio de la presente se hace constar que el estudiante **ADOLFO VAZQUEZ RUIZ**, ha cumplido satisfactoriamente con los requisitos académicos correspondientes para la realización del Examen de grado del programa de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería.

Abraham Rogelio Martín García

DR. ABRAHAM ROGELIO MARTIN GARCÍA

**COORDINADOR DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA:
INGENIERÍA QUÍMICA**



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ingeniería

Posgrado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Química

13 de Agosto de 2021

M.C. Adolfo Vázquez Ruíz

Estudiante del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería

Presente.-

Por medio de la presente le comunico que en sesión extraordinaria de la Comisión Académica del Posgrado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Química con fecha 13 de Agosto de 2021, se aprobó su solicitud de aplicación del Acuerdo de Colegio Académico 06-137/2015 para estudiantes del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Química. Dicho acuerdo establece que para estudiantes que cuenten con al menos dos artículos publicados y/o aceptados dentro de los 8 semestres de duración del programa, podrán titularse mediante un esquema alternativo al tradicional, en donde el estudiante tendrá la opción de presentar los artículos como su documento escrito que deberá defenderse en la fase oral del examen de grado.

Lo anterior debido a que presentó ante la Comisión Académica del Posgrado evidencias de la publicación de los siguientes artículos en revistas indexadas con resultados relacionados con su Tesis Doctoral.

1. **A. Vazquez-Ruiz, J.M.A. Navarro, J.F. Hinojosa, J.P. Xamán.** Computational Fluid Dynamics and Experimental Analysis of the Heat Transfer in a Room with a Roof Solar Chimney. Journal of Thermal Science and Engineering Applications. vol. 14, 2021. DOI:10.1115/1.4051454.
2. **A. Vazquez-Ruiz, J.M.A. Navarro, J.F. Hinojosa, J.P. Xamán.** Effect of the solar roof chimney position on heat transfer in a room. International Journal of Mechanical Sciences. vol. 209, 2021. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2021.106700.

ATENTAMENTE

"El saber de mis hijos hará mi grandeza"

Abraham Rogelio Martín García
Dr. Abraham Rogelio Martín García



**POSGRADO EN
CIENCIAS DE
LA INGENIERÍA:
INGENIERÍA QUÍMICA**

Coordinador del Posgrado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Química

RELATORÍA

A continuación, se presenta una descripción de los artículos publicados durante el estudio doctoral titulado “Estudio térmico (teórico-experimental) en una habitación a escala con una chimenea solar como alternativa de ventilación”, para llevar a cabo la obtención del grado de Doctor con la opción de publicación de artículos como alternativa para la fase escrita del examen de grado.

El objetivo general de este trabajo fue “Realizar un estudio térmico (numérico y experimental) en una habitación a escala con una chimenea solar como alternativa de ventilación”, por lo tanto, los artículos publicados están concordancia con este objetivo. En la primera etapa de la tesis, se trabajó en la parte experimental, la cual consistió en fabricar e instrumentar una cavidad a manera de habitación de 1x1x1 m, con paredes internas de aluminio pulido de baja emisividad (0.03) y una chimenea solar de doble canal. Primero se realizó un estudio térmico en la habitación con la chimenea colocada al centro y entrada de aire por una de las paredes laterales. Se variaron las potencias tanto en el receptor como en la pared con calefactor, y se obtuvieron datos experimentales como perfiles de temperatura, coeficientes de transferencia de calor y cambios de aire por hora. Posteriormente se realizaron corridas numéricas y se validaron los datos obtenidos con los experimentales. Los resultados de esta etapa se publicaron en el artículo “*Computational Fluid Dynamics and Experimental Analysis of the Heat Transfer in a Room With a Roof Solar Chimney*” en la revista Journal of Thermal Science and Engineering Applications (indizada en el JCR), en el cual aparezco como autor principal.

Como segunda etapa, se realizó la variación de configuraciones experimentales, tanto como la posición de la chimenea en el techo, como la posición de entrada de aire. Con los resultados experimentales obtenido se procedió al estudio teórico, donde lo primordial consistió en obtener una metodología numérica que fuese capaz de reproducir el fenómeno en configuraciones distintas a las estudiadas experimentalmente para validar la predicción del modelo numérico. Se realizó una exhaustiva y especializada revisión bibliográfica, de la cual se concluyó que el estudio de este tipo de chimeneas se estudia principalmente a manera de prototipos basándose en sus dimensiones y como estas afectan al flujo de aire en la chimenea, mas no como afecta el uso de estos dispositivos en la habitación a la que se encuentran acoplados. Además, la mayoría de dichos estudios se simulan en 2D, mientras que este estudio se llevó a cabo en 3D. Con ayuda de los resultados experimentales previamente obtenidos se pudo comprobar la reproducibilidad de las simulaciones numéricas aun con los cambios de configuración y de condiciones de frontera. Los resultados de este trabajo se publicaron en la revista International Journal

of Mechanical Sciences bajo el título “*Effect of the solar roof chimney position on heat transfer in a room*” en el cual aparezco como primer autor.

De manera general se puede concluir que, con los resultados obtenidos se cumplió con los objetivos planteados en este trabajo Doctoral. Como complemento a la relatoría se anexan las publicaciones mencionadas previamente.

A. Vazquez-Ruiz

Department of Chemical Engineering and Metallurgy,
Sonora University,
Hermosillo 83000, Sonora, Mexico
e-mail: adolfo.vazquez@unison.mx

J. M. A. Navarro

Department of Chemical Engineering and Metallurgy,
Sonora University,
Hermosillo 83000, Sonora, Mexico
e-mail: a214290120@unison.mx

J. F. Hinojosa¹

Department of Chemical Engineering and Metallurgy,
Sonora University,
Hermosillo 83000, Sonora, Mexico
e-mail: fhinojosa@iq.uson.mx

J. P. Xamán

National Center for Technological Research and Development,
CENIDET-DGEST-SEP,
prol. Av. Palmira S/N. Col. Palmira,
Cuernavaca, Morelos CP 62490, Mexico
e-mail: jxaman@cenidet.edu.mx

Computational Fluid Dynamics and Experimental Analysis of the Heat Transfer in a Room With a Roof Solar Chimney

This study reports a numerical-experimental analysis of heat transfer and airflow in a scaled room with a heated wall coupled with a double-channel vertical roof solar chimney. For the experimental part, a parametric study was performed in the thermal system, considering different values of heat flux supplied to a vertical wall of the scaled room (75 and 150 W/m²) and the absorber surface of the solar chimney (151 and 667 W/m²). Experimental temperature profiles were obtained at six different depths and heights, and experimental heat transfer coefficients were computed for both heated surfaces. The renormalization group k - ϵ turbulence model was evaluated against experimental data using computational fluid dynamics software. With the validated model, the effect of the heated wall and solar chimney on temperature fields, flow patterns, and heat transfer convective coefficients are presented and discussed. The cases with heat flux on the heated wall of the scaled room produce the biggest air changes per hour (ACH), being 30.1, 31.2, and 23.4 ACH for cases 1 to 3, respectively, while cases with no heated wall produce fewer ACH (11.72 and 12.28 for case 4 and 5). The comparison between cases with and without heat flux on one vertical wall but the same solar chimney heat flux shows that the ACH increases between 154% and 156%, respectively. [DOI: 10.1115/1.4051454]

Keywords: scaled room, solar chimney, double-channel solar chimney, numerical-experimental study, energy efficiency, energy systems, experimental techniques, natural and mixed convection, thermal systems

1 Introduction

As a result of the world's population growth and the pursuit of higher living standards, energy consumption has increased significantly, becoming a particularly acute problem in housing and buildings. About 18.9% of the world's total energy is consumed in form of electricity, and it is known that more than 64% of the electrical energy generation comes from fossil thermal plants. 46% of the energy used in the US is for artificial air conditioning; in OCDE member countries, this consumption is between 15% and 25% [1]. Therefore, reducing energy consumption due to heating, ventilating, and cooling (HVAC) in buildings is an important factor to reduce greenhouse gas emissions. There is a great emphasis on reducing energy consumption, derived from the global environmental awareness, which has motivated researchers and designers to consider including new standards in architectonic designs, that reflect the importance of ventilation and air quality inside buildings [2], as well as to study strategies to control the heat transfer through the building envelope [3] or the use of renewable energies for the air-conditioning of offices and rooms [4]. On the other hand, if the environment of a building is not adequate and comfortable, the occupant's performance will inevitably decrease and suffer physically and psychologically. According to Carrer et al. [5], the lowest indoor ventilation rate in which no health effects were observed was from 25 to 40 L/s, while for a ventilation rate from 6 to 7 L/s, a wide variety of health problems ranging from yawning, wheezing, and headaches, to allergies, rhinitis, asthma, flu, and severe respiratory syndromes (SRS) were seen.

However, the solar chimney has been developed as an attractive passive technology to promote natural ventilation in rooms [5]. This

device operates as a thermosyphon, which uses solar radiation to produce natural air circulation, taking advantage of the buoyant forces. Solar energy increases air temperature and consequently an air density decrease within the chimney. Low-density air rises through the chimney and escapes atop of the outlet, while fresher air with higher density fills in the chimney, promoting air circulation in the room. Four types of influencing factors in the chimney performance are addressed: configuration, installation conditions, materials usage, and environment. Recent review papers show that most of the studies are focused on vertical wall chimneys, and its implementation can produce high outlet air velocities which can reduce room temperature by up to 3 °C [6,7]. Next is presented the literature survey of the most relevant investigations of solar chimneys categorized in numerical, experimental, and numerical-experimental studies.

1.1 Numerical Studies. Shi [8] developed theoretical models for a vertical wall chimney under cooling and heating conditions considering the room configuration. It was found that for heating conditions, the airflow rate depends not only on the cavity height but also on the opening height. Bacharoudis et al. [9] numerically evaluated four different wall solar chimney configurations, measuring their thermal behavior and efficiency. The k - ϵ family of turbulence models showed superior performance for flows under strong pressure gradients. Wang et al. [10] carried out a numerical study of the effect of the external wind in the optimum design of a wall solar chimney. It was found that for external wind conditions, the chimney depth should increase from 0.3 m to 0.5 m. Bassiouny and Korah [11] studied the effect of the inclination angle on the ACH of a roof solar chimney. The analytical results show that for optimum airflow rates, the inclination angle must be between 45 deg to 70 deg.

Al-Kayiem et al. [12] developed a mathematical model to analyze the influence of the height and collector area on a rooftop solar

¹Corresponding author.

Manuscript received March 17, 2021; final manuscript received June 2, 2021; published online July 27, 2021. Assoc. Editor: Robert Krewinkel.



Effect of the solar roof chimney position on heat transfer in a room

A. Vazquez-Ruiz^a, J.M.A. Navarro^a, J.F. Hinojosa^{a,*}, J.P. Xamán^b

^a Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora, Hermosillo, 83000, Sonora, México

^b Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, CENIDET-DGEST-SEP, prol. Av. Palmira S/N. Col. Palmira, Cuernavaca, Morelos CP 62490, México

ARTICLE INFO

Keywords:

Scaled room
Solar chimney
Double-channel
Numerical- experimental study

ABSTRACT

This study reports a numerical-experimental analysis of heat transfer and airflow in a scaled room with a heated wall coupled with a double-channel vertical roof solar chimney. For the experimental study, a parametric study was performed in the thermal system, considering different values of heat flux supplied to a vertical wall of the scaled room and six different positions of the roof solar chimney. Experimental temperature profiles were obtained at six different depths and heights and experimental heat transfer coefficients were computed for both heated surfaces. The renormalization group $k-\epsilon$ turbulence model was evaluated against experimental data using computational fluid dynamics software. With the validated model, the effect of heat sources on temperature fields, flow patterns, and heat transfer convective coefficients is presented and discussed. The case with heat flux on the heated wall produces the biggest amount of air changes per hour, being the nearest position of the solar chimney to the air inlet the case with more air removal with 30.24 air changes per hour, corresponding to an output velocity of 0.13 m/s, compared to lower performance setting with 0.06 m/s muzzle velocity, likewise, this configuration presented the best thermal behavior for the configurations with and without the heated wall, with temperatures oscillating between 298 to 301 K. For this reason, it is important to consider this numerical-experimental (3D) study, to obtain the best use of natural ventilation and air changes per hour, offered by a double-channel roof solar chimney, being an efficient, economic, and ecological way of maintaining natural ventilation in buildings to live or work.

Nomenclature

A	Heat transfer area, m ²
ACH	Air changes per hour, h ⁻¹ .
A _{outlet}	Cross-section area of the chimney, m ²
A _{heater}	Chimney plate area, m ²
C _p	Specific heat, J kg ⁻¹ K ⁻¹ .
g	Gravity, m s ⁻² .
\bar{h}	Average heat transfer coefficient, W m ⁻² K ⁻¹
I	Edge of the inlet, m.
I	Current intensity, A.
k _t	Turbulent kinetic energy, m ² s ⁻²
k _{t,in}	Inlet turbulent kinetic energy, m ² s ⁻²
L _x	Edge of the cavity in the x-axis, m.
L _y	Edge of the cavity in the y-axis, m.
L _z	Edge of the cavity in the z-axis, m.

L _{ref}	Reference length, m.
l _x	Edge of the chimney in the x-axis, m.
l _y	Edge of the chimney in the y-axis, m.
l _z	Edge of the chimney in the z-axis, m.
\dot{m}	Mass flow, kg/s
Nu	Local Nusselt number, nondimensional
\overline{Nu}_t	Total average Nusselt number, nondimensional
P	Mean dynamic pressure of the fluid, Pa
q''	Heat flux, W/m ²
q'' _w	Heat flux on the heated wall, W/m ²
q'' _{ch}	Heat flux on chimney plate, W/m ²
Ra	Rayleigh number, nondimensional
T	Mean temperature of fluid, K
T _c	Temperature of the isothermal wall, K
T _h	Average temperature of the heated wall, K
T _{ref}	Temperature of the inlet air, K

* Corresponding author.

E-mail address: fhinojosa@iq.uson.mx (J.F. Hinojosa).