



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i1>

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

*Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación*

*Evaluation of the operation of a solar chimney as a passive ventilation system*

*Avaliação do funcionamento de uma chaminé solar como sistema de ventilação pasiva*

Wilson Federico Harris-Vásquez I  
[wilson.harris.92@est.ucacue.edu.ec](mailto:wilson.harris.92@est.ucacue.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-3106-4299>

Diego Aquiles Heras-Benavides II  
[dherasb@ucacue.edu.ec](mailto:dherasb@ucacue.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-8729-0981>

Carlos Eduardo Romo-Zamudio III  
[carlos.romo@ucacue.edu.ec](mailto:carlos.romo@ucacue.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-2417-3988>

**Correspondencia:** [wilson.harris.92@est.ucacue.edu.ec](mailto:wilson.harris.92@est.ucacue.edu.ec)

\***Recibido:** 29 de febrero de 2022 \***Aceptado:** 21 de marzo de 2023 \* **Publicado:** 01 de abril de 2023

- I. Universidad Católica de Cuenca, Ecuador.
- II. Universidad Católica de Cuenca, Ecuador.
- III. Universidad Católica de Cuenca, Ecuador.

## Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

---

### Resumen

Una chimenea solar es un sistema pasivo que mejora la ventilación natural de edificaciones, utilizando la radiación solar con la cual se genera un flujo de aire, introduciendo aire frío del exterior que sustituye el aire caliente del interior, en este artículo se evalúa su funcionamiento en base a una revisión bibliográfica y un modelo físico. Con los parámetros obtenidos de dicha revisión, se construye un modelo físico, en el cual se realizan pruebas que nos indican si se produce un movimiento de aire en base al calentamiento de dicho gas. Se eligen los materiales y dimensiones a utilizar en la construcción del modelo físico, se expone dicho modelo a la radiación solar para obtener datos de temperatura interior y exterior del sistema y con la ayuda del software Jmovi se realizó un análisis estadístico donde se pudo constatar que la radiación solar efectivamente calienta el interior de la chimenea solar, con una variación de 9°C respecto a la temperatura ambiente, lo cual produce que se genere un flujo de aire hacia la parte superior, obligando así que el aire ingrese del exterior por medio de un agujero de ventilación, se pudo evidenciar que la velocidad al interior del sistema llega a los 6m/s logrando así un confort térmico de los espacios a ventilar.

**Palabras Claves:** Chimenea solar; temperatura; ventilación aérea; confort térmico; ventilación natural.

### Abstract

A solar chimney is a passive system that improves the natural ventilation of buildings, using solar radiation with which an air flow is generated, introducing cold air from the outside that replaces the hot air from the interior, in this article its operation is evaluated in based on a literature review and a physical model. With the parameters obtained from said review, a physical model is built, in which tests are carried out that indicate whether an air movement occurs based on the heating of said gas. The materials and dimensions to be used in the construction of the physical model are chosen, said model is exposed to solar radiation to obtain data on the internal and external temperature of the system and with the help of the Jmovi software a statistical analysis was carried out where it was possible to verify that solar radiation effectively heats the interior of the solar chimney, with a variation of 9°C with respect to the ambient temperature, which causes an air flow to be generated towards the upper part, thus forcing the air to enter from the outside through of a ventilation hole, it

## Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

---

was possible to show that the speed inside the system reaches 6m/s, thus achieving thermal comfort in the spaces to be ventilated.

**Keywords:** Solar chimney; temperature; air ventilation; Thermal comfort; Natural ventilation.

### Resumo

Uma chaminé solar é um sistema passivo que melhora a ventilação natural dos edifícios, utilizando a radiação solar com a qual é gerado um fluxo de ar, introduzindo ar frio do exterior que substitui o ar quente do interior, neste artigo o seu funcionamento é avaliado com base em uma revisão de literatura e um modelo físico. Com os parâmetros obtidos com a referida revisão, é construído um modelo físico, no qual são realizados testes que indicam se ocorre um movimento de ar com base no aquecimento do referido gás. São escolhidos os materiais e dimensões a serem utilizados na construção do modelo físico, o referido modelo é exposto à radiação solar para obter dados sobre a temperatura interna e externa do sistema e com a ajuda do software Jmovi foi realizada uma análise estatística onde foi possível verificar que a radiação solar aquece eficazmente o interior da chaminé solar, com uma variação de 9°C relativamente à temperatura ambiente, o que faz com que seja gerado um fluxo de ar para a parte superior, obrigando assim o ar a entrar pelo exterior através de um orifício de ventilação, foi possível constatar que a velocidade no interior do sistema atinge os 6m/s, conseguindo assim conforto térmico nos espaços a ventilar.

**Palavras-chave:** Chaminé solar; temperatura; ventilação de ar; Conforto térmico; Ventilação natural.

### Introducción

Las principales fuentes de contaminación ambiental surgen del uso de combustibles fósiles, la sociedad actual depende en gran parte del petróleo y resulta complejo el evitar su uso o reducirlo. Dicha dependencia a este producto fue evidenciada en la primera crisis del petróleo en 1973, probablemente esto ha impulsado a la sociedad a buscar otras alternativas para reemplazar el uso del petróleo como una fuente de energía (Rojas, 2021).

El proceso de construcción y la habitabilidad exige también consumo energético, mismo que se caracteriza por ser consumo eléctrico y de derivados del petróleo. En este sentido, la actualidad se ha volcado a desarrollar cada vez con mayor compromiso el concepto de arquitectura sostenible, con objeto de aprovechar al máximo los factores ambientales, como la luz solar, el viento, etc. Todo esto

## Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

---

apunta a un futuro que aún no se ha hecho visible, pero que requiere de estudio y apoyo de diferentes ciencias, en favor de las necesidades ambientales de las sociedades actuales (Romero, 2019).

La habitabilidad en regiones de climas fríos, extremadamente fríos y también cálidos, exige el uso extra de recursos que permitan acceder a un ambiente confortable. En este marco, y de cara a la propuesta eco-amigable, es necesario un correcto uso de sistemas activos y/o pasivos de energías limpias (León, 2017). En los últimos años se ha elevado el consumo energético derivado del uso de aparatos eléctricos para promover el movimiento de aire en regiones con climas cálidos, lo que ha traído como consecuencia un impacto negativo en el ambiente (Fuentes & Rodríguez, 2021). Estos problemas pueden ser efectivamente solventados mediante el uso de energías alternativas y dispositivos capaces de mejorar el espacio interior en cuanto a su climatización.

La producción acelerada en la construcción deja de lado parámetros que deben orientar al confort, partiendo desde el diseño, con objeto de reducir el impacto ambiental generado en la vida cotidiana por los habitantes de estos espacios (Guillén et al., 2015).

El objetivo general de este estudio es diseñar y evaluar el funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación en base a un modelo físico y un estudio del arte. Para lograrlo se desarrolló una revisión bibliográfica del funcionamiento de una chimenea solar en base a artículos científicos que han hecho estudios en dicho tema. Luego con la información obtenida se construyó el modelo físico y se presentó los resultados.

### Marco teórico

Un sistema pasivo es aquel que no necesita de una fuente de energía para su funcionamiento, si no que mediante el entorno en que se encuentran utilizan los recursos para su accionar. La chimenea solar es uno de estos conceptos, que se está probando actualmente por los científicos y por los diseñadores, por medio de la investigación y la experimentación. Hoy en día, las chimeneas solares, también llamadas torres o generadores solares, se consideran en múltiples funciones, para ejercer y desempeñar muchos propósitos (Lorenzo, 2002), dicho sistema se puede combinar con la arquitectura como es el caso de un estudio realizado en el 2016, donde se modela una chimenea construida mediante una falsa pared al interior de una vivienda logrando mejorar la ventilación de la edificación (Sudprasert et al., 2016), se obtuvo una variación de 5°C al interior de la chimenea respecto a la temperatura ambiente, en el mismo año se modela el sistema en un software de computadora donde la variación de temperatura alcanzo los 10°C (Shi & Zhang, 2016).

## Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

---

Una chimenea solar no solo ayudará a reducir las emisiones globales de gases de efecto invernadero, sino que también será un medio para reducir el costo de energía de un hogar y será un paso más para lograr una vivienda ecológica (Layeni et al., 2020).

Un estudio analítico y computacional para determinar la velocidad y la temperatura del flujo de aire que se producen en un nuevo diseño de chimenea solar propuesto, donde se considera la variación de la densidad del aire con la temperatura; el modelo indica que se produce un movimiento de aire debido al cambio de densidad por temperatura. (Migue et al., 2005).

A través del tiempo se ha ido evaluando a la chimenea solar mediante pruebas en campo o mediante modelación en computadora, en el 2019 un software mide las variaciones de temperatura al interior de una chimenea llegando a obtener altas temperaturas en las paredes de la estructura que calientan el aire y a su vez aumentan la velocidad de circulación (Tlatelpa-Becerro et al., 2019), en el 2021 se involucra como variable del sistema pasivo la cantidad de CO<sub>2</sub> que se encuentra presente en la atmosfera de la ciudad de Hong Kong, uno de los gases que produce el efecto invernadero e influye en la temperatura del planeta (Cao et al., 2021).

En el 2021 se desarrolló un modelo experimental de una chimenea solar eólica para suministro eléctrico, es decir se utiliza el flujo de aire del sistema para mover unas hélices en la parte superior de la estructura y así producir energía (Velazco-lorenzo & Butler-blacker, 2022). En el mismo año se incorpora el concepto de chimenea solar para generar un sistema de enfriamiento de paneles solares, que reducen su eficiencia cuando se calientan (Ahmed et al., 2022). En el 2015 se genera energía eléctrica por la circulación de aire en una chimenea, este flujo hace girar unas turbinas o aerogeneradores colocados en la base de la estructura que convierten el flujo de aire en energía rotacional (Imbaquingo & Domínguez, 2015). Finalmente se puede decir que es conveniente combinar los sistemas de ventilación pasiva con plantas generadoras para obtener energía más limpias (Sundararaj et al., 2022).

En una publicación realizada en el año 2010, se demostró que la ventilación mejora al aumentar la extensión de la chimenea, en dicho incremento vale indicar que se debe conservar una relación entre largo y ancho no mayor que 12:1.(Wei et al., 2010). En algunos casos la estructura de la chimenea se complementa con la incorporación de unas aletas que mejoran la convección del aire y aumentan la eficiencia térmica en un 16.50% (Parthasarathy & Pambudi, 2019).

Se han realizado investigaciones acerca de las chimeneas solares, ya sean enfocadas a las dimensiones de dichos elementos o a los materiales con los que fueron construidos. En el 2000 se ejecuta una

## Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

comparación experimental del comportamiento de una chimenea tradicional hecha totalmente de mampostería contra otra hecha de mampostería y vidrio, ante lo cual pudieron concluir que la eficiencia de la chimenea solar es entre 10 y 22 % mayor que las tradicionales (Afonso & Oliveira, 2005).

### Elementos básicos que conforman una chimenea solar

La cubierta receptora es el primer elemento de la chimenea solar que recibe la radiación solar y provoca el calentamiento del interior de la cámara. El cristal refleja y absorbe tanto la radiación directa como la difusa, transmitiendo una parte de la radiación hacia el interior. El muro receptor como siguiente componente que junto con la cubierta de vidrio forman el canal por el que circula el aire. Absorbe parte de la energía transmitida por la cubierta de vidrio. Transfiere su energía por convección y radiación al aire que se encuentra dentro de la cámara y por conducción al interior del edificio. Las aberturas de entrada y salida, permiten la entrada de aire desde el interior del espacio acondicionado y la salida de este una vez ha sido calentado.(Palomo, 2021).



**Figura 1:** Esquema chimenea solar. **Fuente:** Propia

Confort térmico: Los seres humanos no estamos fisiológicamente preparados para vivir a la intemperie, dicha carencia se controla primeramente con la vestimenta, luego con una estructura cerrada para nuestra protección. No basta únicamente con la protección, un aspecto muy importante es que el individuo se sienta cómodo en el lugar donde se encuentra, en nuestro caso cuando una persona siente comodidad térmica con respecto al ambiente que lo rodea, se puede decir que se encuentra en condiciones de “confort térmico” .(Yarke, 2005)

## Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

El confort térmico está ligado a la temperatura exterior de las edificaciones así se demostró en un estudio realizado en el 2022 donde se comprobó que un sistema de ventilación pasiva mantiene los valores de confort térmico constantes a medida que pasa el tiempo y la temperatura exterior varía entre los 14 y 30 °C (Nateghi & Jahangir, 2022).

Con el objetivo de llegar a tener una temperatura cómoda al interior de nuestras edificaciones se han combinado sistemas para alcanzar dicho objetivo, como es el caso de una chimenea solar con un sistema intercambiador de calor tierra-aire, el cual enfría el aire que va a ingresar a la infraestructura mediante túneles subterráneos, finalmente se complementó el sistema con paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica (Alkaragoly et al., 2022).

### Construcción de una chimenea solar

Teniendo clara la estructura de una chimenea solar, hay que elegir los materiales con que se va a construir dicho elemento, para el acristalamiento es necesario un material que permita el paso de los rayos solares. Pasando al elemento receptor hay que considerar materiales con capacidades caloríficas bajas, es decir que no se necesite de mucha energía para lograr elevar la temperatura (Storino, 2017), basándonos en estos parámetros se podrían utilizar metales como el aluminio, el hierro, el latón, etc. La placa receptora puede optimizar la recepción de calor mediante la utilización de una material colector, dos chimeneas fueron probadas en el 2022, pudiendo evidenciar que el sistema con colector aprovecha mejor la radiación al momento de generar la ventilación (Cisse et al., 2022). Finalmente se debe dejar las aperturas para la entrada y la salida del aire y así garantizar el flujo del mismo.

Es necesario tener presente algunos parámetros al momento de construir una chimenea solar, mismos que se encuentran justificados en base a estudios, por ejemplo, un pre dimensionamiento de la estructura se puede basar en un estudio realizado en Madrid en el cual se relaciona la altura y el ancho del sistema con el flujo masico en Kg/s (Storino, 2017).

**Tabla 1:** Flujo masico en relación con el ancho y la altura. **Fuente:** Storino 2017.

		Ancho del canal (cm)				
		10	20	30	40	50
Altura, h (m)	1	0.0214	0.0226	0.0217	0.0201	0.0191
	1.5	0.030321	0.0389	0.0399	0.0396	0.0383

## Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

	2	0.0416	0.0552	0.0597	0.0607	0.0606
	2.5	0.0504	0.0706	0.0796	0.0833	0.084

Una apropiada ventilación y una buena calidad del aire, se alcanza al lograr una renovación del aire de mínimo 4 veces por hora de acuerdo con la norma DIN. En estas condiciones el sistema también tiene la capacidad suficiente para evacuar el calor, olor y contaminación de ambientes interiores. (Giraldo & Herrera, 2017).

### Metodología

Se planteó una investigación de enfoque cuantitativo experimental y de corte longitudinal en cuanto a la toma de datos. De acuerdo a Ilzarbe et al., (2007), el diseño experimental se caracteriza por el desarrollo de un plan de acuerdo a los sujetos u objetos de estudio, y se caracteriza por: a. formulación de hipótesis, b. establecer reglas de decisión para poner a prueba dichas hipótesis, c. recogida de datos de acuerdo al plan que permita valorar las hipótesis, d. el análisis de los datos obtenidos y e. la toma de decisiones en cuanto a los datos obtenidos para su publicación.

**Etapa 1:** Se realizó una revisión bibliográfica donde el proceso de selección de documentos se llevó a cabo mediante la búsqueda en bases de datos científicas como “Scopus” y “Web of Science”, mediante las palabras clave: “chimenea solar”, “temperatura”, “ventilación aérea”, “confort térmico”, “ventilación natural”. Una vez obtenidos los resultados se procedió a seleccionar aquellas investigaciones que aportan con datos referentes al diseño, construcción y funcionamiento de una chimenea solar.

**Etapa 2:** En la segunda etapa se utilizó la información obtenida en la revisión bibliográfica tal como dimensiones, materiales y demás recomendaciones; para modelar una chimenea solar y posteriormente construir dicho elemento, los materiales que se utilizaron fueron acrílico, MDF, lamina de corcho y aluminio.

**Etapa 3:** Se procedió a poner a prueba el prototipo mediante la toma de datos durante cinco días. El número de muestras se describe en la metodología del presente trabajo.

Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

Finalmente, se analizaron los datos en software analítico JAMOVI, mediante medidas de dispersión y diferencia significativa entre las temperaturas (exterior e interior), con objeto de determinar la existencia de valor significativo en cuanto a la aplicación del dispositivo para el ambiente interior.

## Resultados y discusión

**Resultados Etapa 1:** Luego de realizar la revisión bibliográfica se clasifica los trabajos de investigación según la información obtenida, dichos trabajos se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Resultados de la revisión bibliográfica. **Fuente:** Propia

TÍTULO	Nº	AUTOR	T (°C)	M (m/s)	RESULTADOS	MEDICIÓN DE DATOS
La chimenea solar. Parámetros de diseño de un sistema pasivo generador de movimiento de aire.	017	León			La velocidad de entrada de aire incide en la velocidad al interior. El cálculo de V, incrementa en 275% al ubicar la salida de aire a 80 cm de altura.	N
Las chimeneas solares: de una propuesta española en 1903 en la central de Manzanares.	002	Lorenzo			Simulación en base a la idea de Cabanyes. Se determinó límite entre la diferencia de temperatura que determina el rendimiento de la máquina.	N
Parámetros de diseño de la chimenea solar	013	Juan León,		0.6	La altura de la torre incrementa la velocidad del aire.	Simulación
Diseño y construcción de prototipo de chimenea solar para vivienda de interés social en el Valle del Cauca	017	Storni		.52	La chimenea ayuda a mejorar el confort térmico con la circulación de aire al interior. Permite también el control de picos de temperatura.	Empírico
Estudio y modelización de un nuevo diseño de chimenea solar	001	Miguel, Mealla y Saravia		.58	Se diseñó un modelo de dos metros de alto y 0,15 m de diámetro. Se consiguió un caudal de aire de 40m <sup>3</sup> /h.	Empírico

Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

A study of ventilation performance of a series of connected solar chimneys integrated with buiding	010	Wei	5	.68	La ventilación mejoró con un incremento en el largo de la chimenea. Se observó que ha mayor flujo con una configuración más larga.	Simulación
Solar Chimneys: simulation and experiment.	000	Afons o y Oliveira	D	D	Hay un incremento significativo en la ventilación con chimenea solar.	ND
Ventilación natural de edificios	005	Yarke	D	D	Es posible aportar a la reducción del consumo energético de edificaciones, cuando éstas se conciben desde el diseño.	ND
Ventilación pasiva y confort térmico en viviendas de interés social en clima ecuatorial	017	Girald o	D	D	Durante los períodos de viento en calma se determinó que las chimeneas solares pueden resultar eficientes a través de la inducción de corrientes de aire.	ND
Ventilación pasiva industrial usando una chimenea solar.	013	Molin a	D	D	Se consideró que las propiedades del aire más relevantes para mejorar el fujo térmico son densidad, calor específico y viscosidad.	ND
Diseño innovador de chimenea solar para edificios: modelado y optimización.	021	Palom o	D	.62	Se diseñó un prototipo de 5 m de alto con una sección de entrada de 50 cm. Formada por 9 lamas. Con este diseño se logró una radiación total absorbida de 20,17 kW/m	Simulación
Desarrollo de un modelo experimental de una chimenea solar-eólica para suministro eléctrico	022	Velas co y Butler		D	El diseño se basó en un modelo de chimenea solar-eólica, dotada de tres subsistemas: solar térmico, solar fotovoltaico y eólico.	ND
Simulación numérica de una chimenea solar vertical con tres canales de flujo de aire.	019	Tlatel pa	0	D	La configuración de tres canales es más eficiente que un solo canal, alcanzando flujos máxicos de 0,45kg/s.	ND

Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

Modelo dinámico de una planta de generación con chimenea solar.	015	Imbaquiungo	D	D	La sección variable del diseño de la planta permite el control del flujo de aire e incremento de la temperatura	ND
Single solar chimney technology as a natural free ventilator; energy-environmental case study for Hong Kong	021	Yan Cao	6	D	El máximo flujo se incrementó de 0,06 a 0,14 Kg/s, reduciendo la inclinación del ángulo de un 80 al 20%. La ventilación en un ángulo de 20° es alrededor del 144% más eficiente que con un ángulo de 80%.	Empírico E
Hybrid solar chimneys: a comprehensive review.	021	Omer, et. al	D	D	Sistemas pasivos se puede complementar con paneles solares que garanticen su funcionamiento en condiciones no óptimas.	ND
Parametric optimization of novel solar chimney power plant using response Surface methodology	022	Sundardaraj	1	.6	Se desarrolló un modelo de simulación y un modelo experimental. Los resultados entre éstos en relación al flujo de masa fueron: 0,04 kg/s y 0,06 kg/s respectivamente.	Simulación
Performance evaluation of solar chimneys in providing the thermal comfort range of the building using phase change materials	022	Seyedkeivan	D	D	La combinación de PCM en chimeneas solares no es satisfactoria en climas cálidos y áridos por los rangos reducidos de cambio que producen.	ND
Experimental investigation of solar chimney with concentrated collector (SCCC)	022	El Hadji, et. al	0	D	Se añadieron tres reflectores a la chimenea solar, lo que incrementó la radiación y temperatura en el colector permitiendo mejorar la circulación de viento al interior.	Simulación
An innovative hybrid system consists of photovoltaic solar chimney and an earth-air	022	Alkaragoly, et. al	6	D	De acuerdo a esta investigación, las dimensiones efectivas para una chimenea solar fotovoltaica son: 2,4 m, x 4,216 y	Simulación

Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

heat exchanger for thermal comfort in buildings					0,3m. De acuerdo a estas medidas, se usaron 16 paneles.	
Numerical study of vertical solar chimneys with moist air in a hot and humid climate	016	orn	Sudap	.15	Las chimeneas con mayor flujo de aire producen entre 15,2% y 26,2% de ventilación del aire, además de proveer mayor control de la temperatura.	Empírico
Computational modelling and simulation of the feasibility of a novel dual purpose solar chimney for power generation and passive ventilation in buildings	022	omi, et. al	Abay	D	Los resultados de esta investigación evidencian que el causal másico de la habitación incrementó en 1 kg/s sin efecto del viento y a 30,1 kg/s con viento inducido en el modelo experimental. Los resultados presentados ayudan a diseñar y establecer los fundamentos y el sistema.	Simulación
An empirical model to predict the performance of typical solar chimneys considering both room and activity configuration	016	Shi	Long	0 .7	Se demostró que el tamaño de la habitación y la ventilación natural de la misma, tiene incidencia mínima en el desempeño del dispositivo.	Simulación
CFD simulation of fan inclined roof solar chimney	021	guez	Rodri	6 .68	Se obtuvieron altas temperaturas en la placa de absorción, lo que evidencia la descarga de calor.	Empírico
Performance study of a solar chimney air heater	019	sarathy	Partha	D D	El acristalamiento de ciertas zonas del diseño permite mejorar la media de temperatura eficiente en 16,50%.	ND

ND: no disponibles; Δ T: Variación de temperatura; VM: Velocidad promedio

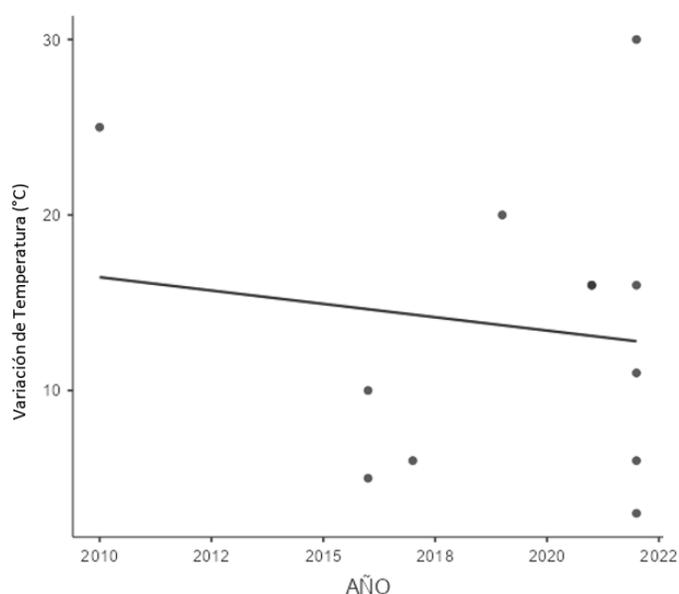
De los trabajos sistematizados, se obtuvieron los siguientes resultados que fueron clasificados en función de las evidencias que proveen para el proceso de investigación (Ver tabla 3).

**Tabla 3:** Clasificación de estudios de acuerdo al tipo de datos. **Fuente:** Propia

Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

Frecuencias de Tipo de Información (TI)						
TI	Frecuen			% del		%
	cias			Total		Acumulado
Confo rt		1		.2 %		.2%
Temp eratura	2	1		0.0%		4.%
Veloci dad		6		5.0%		9.%
Materi ales		2		.3 %		7.%
Constr ucción		3		2.5%		100%

Luego de ordenada la información de manera cronológica, se observa en los trabajos que muestran información sobre variación de temperatura, que no existe una tendencia creciente; de hecho, la gráfica muestra un ligero descenso. Esto evidencia que no ha existido un progreso cualitativo en cuanto a la valoración de la eficacia de las chimeneas solares. Esto se explica también, en parte debido a las diferentes condiciones climáticas en las que se realizan los experimentos (ver Figura 2).



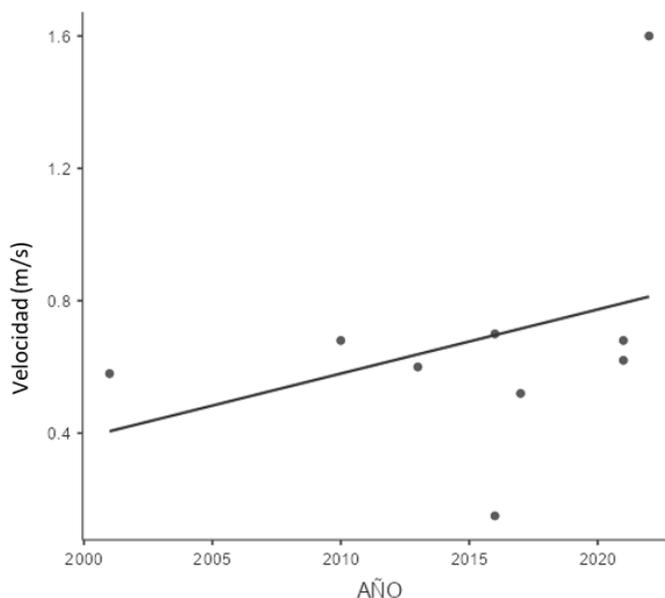
**Figura 2:** Variación de temperatura de la chimenea en relación a temperatura ambiente. **Fuente:** Propia.

## Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

Se evidencia también en la Figura 3 que la variación de la temperatura interna de la chimenea respecto a la temperatura ambiente se encuentra entre los 3 y 30 °C, con una línea (media) que se extiende entre los 14 y 13 grados.

La bibliografía refiere que para generar un espacio confortable se necesita una velocidad del viento de 0,5 m/s, nueve publicaciones exponen la velocidad del viento conseguida dentro de la habitación que depende de la temperatura del aire al interior de la chimenea.

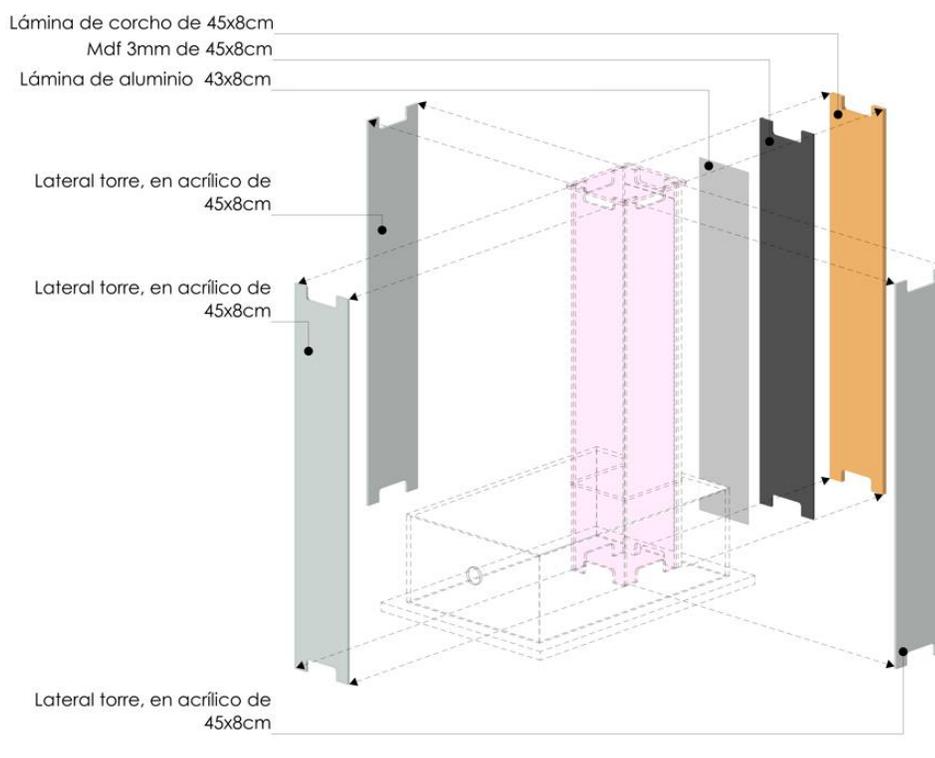
Ordenando los documentos en función de su fecha de publicación, observa un rango de publicaciones desde 2001 hasta 2022. Además, se aprecia una línea ascendente, lo que indica que ha existido evolución en cuanto a los resultados obtenidos para la velocidad del viento conseguido dentro de los habitáculos, en un rango de 0,3m/s, hasta 1 m/s. Esto sugiere que los sistemas pasivos de ventilación muestran ser eficaces y han evolucionado los diseños en las últimas décadas, pudiendo alcanzar velocidades hasta de 1m/s en ambientes interiores.



**Figura 3:** Velocidad del aire según el autor. **Fuente:** Propia

**Resultados Etapa 2:** El diseño del modelo físico se fundamentó en las evidencias bibliográficas encontradas. Dicho elemento se conformó con acrílico y MDF en su estructura; una hoja de aluminio para la placa receptora y lamina de corcho como aislante (ver Figura 4).

## Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación



**Figura 4:** Dimensiones y materiales del modelo físico. **Fuente:** Propia

**Resultados Etapa 3:** Se ubicó el modelo físico en la orientación este-oeste, con objeto de que la placa de aluminio pueda recibir de forma directa los rayos de sol, generando así mayor temperatura a su interior. Como siguiente paso se instaló un termohigrómetro en la parte interior de la chimenea y otro en la parte exterior, para de esta manera ir registrando la temperatura al interior de la chimenea y fuera de ella durante 5 días, comenzando a las 7H00 de la mañana con el primer registro se continúa tomando los datos cada hora hasta las 19H00, donde ya no hay presencia de rayos solares.

Para poder observar la circulación del aire y por ende hablar de una ventilación de una estructura, se optó por la incorporación de una cámara de humo al sistema, dicho elemento se colocó fuera de la chimenea conectado a través del agujero dejado en el acrílico en la cara contraria a la chimenea solar. La cámara de humo se encendió a las 12H00, hora en la cual el sistema alcanzó la máxima temperatura al interior de la chimenea.

Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación



**Figura 5:** Sistema completo instalado. **Fuente:** Propia.

**Muestreo:** Se tomó un total de 65 muestras, distribuidas en una frecuencia de 13 muestras diarias, en intervalos de una hora por muestra, en el experimento y en la temperatura ambiental, con objeto de tener un grupo de datos referenciales que permitan determinar el coeficiente de variación. La cantidad de muestras se definió por sobre el mínimo recomendado y en base a otras experiencias empíricas, alcanzando el total de 65 muestras planteadas (SeyedKeivan, y Hossein, 2022).

**Recolección de datos en el modelo experimental:** Se realizaron las lecturas correspondientes en las diferentes horas del día, se obtienen los siguientes resultados con el termohigrómetro del exterior.

En la Tabla 4 se presentan los datos de temperatura tomados al exterior. Se observa que en general existe una media entre 25,37 y 25,93 °C; es decir, que no existió diferencia de temperatura representativa entre los cinco días que se tomaron las muestras. De igual manera, los datos demuestran una tendencia entre  $\pm 9,94$  y  $\pm 10,069$  entre el primer y quinto día.

Estos datos evidencian que las temperaturas durante los cinco días tendieron a ser homogéneas, presentándose así condiciones similares en el sistema. Se puede también observar la variación de temperatura entre la mañana y caída la tarde, que traza una curva de paulatino incremento que alcanza su valor más alto entre las 12:00 y 13:00 horas, y luego en forma descendente.

**Tabla 4:** Temperaturas del exterior del modelo físico. **Fuente:** Propia.

		Temperaturas al exterior de la chimenea (°C)				
		DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5
Hor	7H00	13,80	13,90	13,80	13,40	12,90
	8H00	14,00	14,20	14,10	13,90	13,40
	9H00	16,30	16,50	16,10	15,80	15,40

Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

	10H00	26,20	26,80	26,40	26,00	25,90
	11H00	33,80	33,90	33,40	33,60	33,00
	12H00	40,90	40,10	40,50	40,00	39,90
	13H00	39,80	39,60	39,70	39,60	39,20
	14H00	36,80	36,40	36,40	36,20	36,30
	15H00	31,80	31,90	31,50	31,60	31,20
	16H00	28,90	28,60	28,70	28,90	28,30
	17H00	23,90	23,70	23,00	23,60	23,20
	18H00	16,00	15,90	15,90	15,60	15,80
	19H00	15,60	15,60	15,70	15,60	15,40
Medidas de dispersión (por día)						
Medidas de dispersión	Media	25,930	25,7846	25,6769	25,3769	25,930
	Median	26,800	26,4000	26,0000	25,9000	26,800
	CV	38,37%	38,84%	39,15%	39,68%	38,37%
	Desv.	9,9492	10,0146	10,0518	10,0697	9,9492
	Desviación	4	4	0	7	4
	Rango	26,20	26,70	26,60	27,00	26,20
	Mínimo	13,90	13,80	13,40	12,90	13,90
Máxim	40,10	40,50	40,00	39,90	40,10	

Nomenclatura: CV: Coeficiente de variación

La Tabla 5 contiene los valores de temperaturas obtenidas al interior de la chimenea en los cinco días de toma de muestras. Se observa que la media de datos oscila entre 29,20 °C y 29,53 °C; es decir, y en concordancia con las temperaturas obtenidas en el exterior, no existe variación entre los días de toma de datos. Se identificó además una desviación entre  $\pm 1342$  y  $\pm 13,63$ ; de igual manera, con tendencia a ser homogénea en todos los días. Se observa, sin embargo y en comparación con la desviación en las temperaturas externas, que en este caso el rango de desviación es más amplio, lo que indica que al interior de la chimenea las variaciones de temperatura presentan alcances más altos (si se observa los máximos y se los compara).

La diferencia que se mantuvo entre las medias de temperaturas exteriores y las medias de temperaturas interiores, se puede observar mejor en el Gráfico 4. Mismo que ilustra la diferencia, y

Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

además la tendencia de continuidad de temperatura, con un ligero descenso entre los días uno y cinco (en caso interior) y uno y cuatro (en el caso de la temperatura exterior).

**Tabla 5:** Temperaturas del interior del modelo físico. **Fuente:** Propia.

		Temperaturas al interior de la chimenea (°C)				
		DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5
Horas de toma de datos	7H00	13,80	13,80	13,80	13,50	13,20
	8H00	14,10	14,00	14,20	14,20	14,00
	9H00	16,90	16,70	16,40	16,20	16,10
	10H00	28,90	28,60	29,00	28,40	28,40
	11H00	37,40	37,60	37,40	37,80	37,20
	12H00	49,90	49,80	48,90	49,20	48,80
	13H00	48,60	48,60	48,50	48,00	48,20
	14H00	45,80	45,90	45,00	45,80	45,60
	15H00	38,00	38,20	38,40	38,20	38,20
	16H00	32,10	32,40	32,10	32,10	32,50
	17H00	26,50	26,80	26,50	26,70	26,20
	18H00	16,10	16,00	15,90	15,60	15,90
19H00	15,40	15,60	15,70	15,20	15,40	
		Medidas de dispersión (por día)				
Medidas de dispersión	Media	29,5000	29,5385	29,3692	29,3000	29,2077
	Median	28,9000	28,6000	29,0000	28,4000	28,4000
	CV	46,09%	46,15%	45,71%	46,43%	46,42%
	Desv.	13,5960	13,6311	13,4245	13,6032	13,5573
	Desviación	2	2	0	5	8
	Rango	36,10	36,00	35,10	35,70	35,60
	Mínimo	13,80	13,80	13,80	13,50	13,20
Máximo	49,90	49,80	48,90	49,20	48,80	

Nomenclatura: CV= Coeficiente de variación

La información hasta el momento analizada, deja ver que existe una diferencia entre las temperaturas, si se compara las medias diarias obtenidas. Además, muestra un incremento a mitad del día y descienden nuevamente, en horas de la tarde.

Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

Se aprecia que los datos de temperatura muestran una diferencia negativa al inicio y fin del día; es decir, la temperatura interior es inclusive inferior a la exterior. Tras la primera hora, esta diferencia negativa se ha invertido y la variación de temperatura va en incremento hasta alcanzar los valores más altos entre las 12 y 14 horas.

Para determinar si existe diferencia significativa entre las variables dimensionadas, es decir, temperatura exterior y temperatura interior, se hizo uso de la prueba t para muestras relacionadas. Para esta prueba, se emparejaron la totalidad de las muestras, es decir, los 65 datos tomados al interior en comparación con los 65 datos tomados al exterior, correspondidos por día y hora. Esto permitió obtener datos generales de cada uno de los casos de investigación, cuyas medidas de dispersión se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 6:** Medias de dispersión medias totales. **Fuente:** Propia

Estadísticas de muestras emparejadas						
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. promedio	Error
ar 1	INTERIOR	29,3831	5	13,13256	1,62889	
	EXTERIOR	25,7446	5	9,73200	1,20711	

En la Tabla 6 se observa la diferencia de medias en la medida exterior e interior, además se confirma la tendencia encontrada en cuanto a la comparación de valores de desviación estándar en el caso del interior, que es superior que el exterior, debido, sobre todo, porque alcanza mayores picos de temperatura al interior, en las horas más cálidas del día.

En la tabla 7, se expone la prueba estadística, a través de la cual se determinó que existe una diferencia significativa entre las temperaturas registradas al interior respecto al interior del sistema ( $p < 0,05$ ). En la Tabla 8 se comprueba la normalidad de los datos.

**Tabla 7:** Prueba t para variables relacionadas. **Fuente:** Propia.

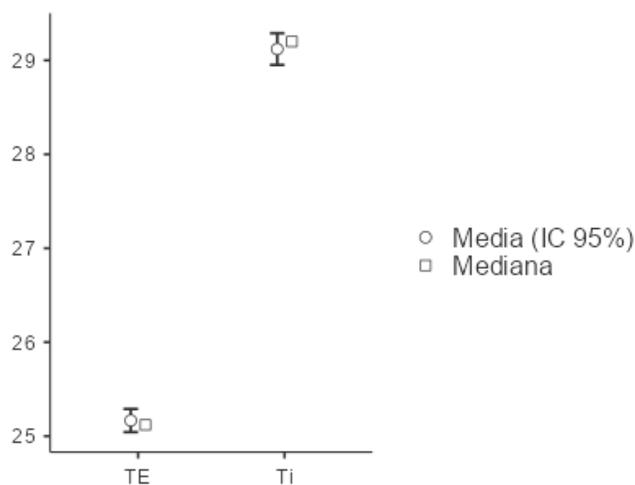
Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

Prueba T para Muestras Apareadas					
			estadístico	gl	p
TI	TE	T de Student	33.8	4.00	< .001
Nota. $H_a \mu \text{ Medida 1} - \text{Medida 2} > 0$					

**Tabla 8:** Comprobación de normalidad de datos. **Fuente:** Propia.

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)				
			W	p
TI	-	TE	0.966	0.850
Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad				

En la Figura 6 se puede apreciar que la diferencia de las variaciones de temperatura exterior respecto a las variaciones de temperatura interior son tan grandes que no legan a intersectarse.



**Figura 6:** Variación de temperaturas interiores y exteriores. **Fuente:** Propia.

Finalmente, en el experimento se va a comprobar si efectivamente se genera un flujo de aire en el interior del sistema para garantizar una ventilación de la estructura, por esta razón se agregó una cámara de humo en el orificio de entrada del sistema, el humo generado ingresó al sistema por el

## Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

---

agujero, posteriormente se ubicó en la parte inferior de la chimenea para empezar a subir por el ducto de la misma, finalmente salió por la parte superior del modelo físico.

### **Discusión**

Los resultados del diseño en maqueta indican que las temperaturas se incrementaron hasta un promedio de 9 °C. La revisión bibliográfica evidenció chimeneas con mayores dimensiones, capaces de alcanzar entre 12 y 15°C de variación de temperatura. Esto sugiere que los modelos reales, debido a mayor área de exposición a luz solar, pueden alcanzar mayor variación de temperatura.

Se comprobó que la chimenea solar ayuda a aumentar el confort térmico de una estructura, debido a que aumenta la velocidad de viento al interior de la edificación, mejorando la sensación de confort de las personas que habitan en ella, además se obtiene una mejor calidad del aire debido a la circulación del mismo.

El análisis de la variación térmica permitió evidenciar que mientras existe incremento en la temperatura ambiente, las diferencias entre ambiente interior y exterior varían también. Esta variación de temperatura se registró superior en todo el trayecto del día, excepto al caer la tarde; momento en el que la diferencia fue negativa, es decir, el interior fue más frío que el exterior. Esta variación sucede debido a que los materiales que se usaron para el habitáculo en la maqueta, no comparten las características de materiales de construcción reales, como lo son el hormigón, ladrillo, bloque; mismos que tienen capacidad de retener calor.

### **Conclusión**

El sol es una energía sin costo y abundante, solamente se tiene que captar para convertirla y de esta manera aprovecharla de la mejor manera (Molina, 2013). Existen soluciones y estrategias pasivas que se pueden implementar para nuestro beneficio mismas que dependen directamente de las variables climáticas.

Las chimeneas solares son funcionales y contribuyen a reducir el consumo de energía en viviendas. Inclusive, se ha estudiado la posibilidad de generar energía en base al mismo principio y la posibilidad de generar corrientes de viento en interiores.

El diseño del prototipo mostró una variación de temperatura de nueve grados, capaz de generar una corriente de viento confortable al interior de la habitación. Esto fue el resultado de diseñar y construir, en base a las evidencias presentadas en el apartado bibliográfico.

## Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

---

Probablemente el uso de chimeneas solares no se ha puesto en práctica dentro de la arquitectura, debido a la existencia de dispositivos que suplen estas funciones. Actualmente, se considera esta una alternativa para reducir el consumo; es decir, las necesidades ambientales son las que generan el retorno a uso de energías pasivas, que no generen impacto ambiental, como las chimeneas solares.

### Agradecimiento

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; Ciudad, Ambiente y Tecnología(CAT), y Sistemas embebidos y visión artificial en ciencias, Arquitectónicas, Agropecuarias, Ambientales y Automática (SEVA4CA), por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo.

### Referencias

1. Afonso, C., & Oliveira, A. (2005). Solar chimneys: Simulation and experiment. *Energy and Buildings*, 32(1), 71–79. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(99\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00038-9)
2. Ahmed, O. K., Algburi, S., Ali, Z. H., Ahmed, A. K., & Shubat, H. N. (2022). Hybrid solar chimneys: A comprehensive review. *Energy Reports*, 8, 438–460. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.12.007>
3. Alkaragoly, M., Maerefat, M., Targhi, M. Z., & Abdljalel, A. (2022). An innovative hybrid system consists of a photovoltaic solar chimney and an earth-air heat exchanger for thermal comfort in buildings. *Case Studies in Thermal Engineering*, 40(July), 102546. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102546>
4. Cao, Y., Aldawi, F., Sinaga, N., Moria, H., Dizaji, H. S., & Wae-hayee, M. (2021). Single solar chimney technology as a natural free ventilator; energy-environmental case study for Hong Kong. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26(June), 101173. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101173>
5. Cisse, E. H. I., Thiam, A., Ndiogou, B. A., Azilinson, D., & Sambou, V. (2022). Experimental investigation of solar chimney with concentrated collector (SCCC). *Case Studies in Thermal Engineering*, 35(August 2021). <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101965>

Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

---

6. Fuentes, V., & Rodríguez, S. (2021). CFD simulation of an inclined roof solar chimney. *Habitat Sustentable*, 11(2), 72–81. <https://doi.org/10.22320/07190700.2021.11.02.06>
7. Giraldo, W., & Herrera, C. A. (2017). Ventilación pasiva y confort térmico en vivienda de interés social en clima ecuatorial. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1), 77–101.
8. Guillén, V., Quesada, F., López, María, & Serrano, A. (2015). Energetic efficiency in residential buildings. *Estoa Rev.*, 4(7), 63–72. <https://doi.org/10.18537/est.v004.n007.07>
9. Ilzarbe, L., Tanco, M., Viles, E., & Álvarez, A. (2007). El diseño de experimentos como herramienta para la mejora de los procesos. Aplicación de la metodología al caso de una catapulta Design of Experiments as a Tool for Process Improvement. *Methodology Applied to a Catapult. Rev. Tecnura*, 10(20), 127–138.
10. Imbaquingo, C., & Domínguez, X. (2015). Modelo Dinámico de una Planta de Generación con Chimenea Solar.
11. Layeni, A. T., Waheed, M. A., Adewumi, B. A., Bolaji, B. O., Nwaokocha, C. N., & Giwa, S. O. (2020). Computational modelling and simulation of the feasibility of a novel dual purpose solar chimney for power generation and passive ventilation in buildings. *Scientific African*, 8, e00298. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00298>
12. León, J. (2013). Parámetros de diseño de la chimenea solar. *Escuela Politécnica Superior de Edificaciones de Barcelona, Master the*, 63.
13. León, J. (2017). Chimenea solar. *Wikipedia, De*, 7–8.
14. Lorenzo, E. (2002). Las chimeneas solares : De una propuesta española en 1903 a la Central de Manzanares Introducción Las chimeneas solares. 1–6.
15. Migue, C., Mealla, L., & Saravia, L. (2005). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 5, 2001. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184. 5, 19–24.*
16. Molina, M. (2013). “ Ventilación pasiva industrial usando una chimenea solar .”
17. Nateghi, S. K., & Jahangir, M. H. (2022). Performance evaluation of solar chimneys in providing the thermal comfort range of the building using phase change materials. *Cleaner Materials*, 5(July), 100120. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100120>
18. Palomo Amores, T. (2021). Diseño innovador de chimenea solar para edificios: modelado y optimización. 84.

Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

---

19. Parthasarathy, P., & Pambudi, N. A. (2019). Performance study of a solar chimney air heater. *Case Studies in Thermal Engineering*, 14(March), 100437. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100437>
20. Rojas, L. (2021). Contaminación ambiental y sus efectos en la salud: una revisión de la literatura científica. *Universidad Privada Del Norte*, 4(12), 23–45. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/26511>
21. Romero, I. (2019). Efectos ambientales en fase de construcción. *Rev. Universidad Politécnica de Valencia*, 11(19), 1–92. <https://riunet.upv.es/handle/10251/118400>
22. Shi, L., & Zhang, G. (2016). An empirical model to predict the performance of typical solar chimneys considering both room and cavity configurations. *Building and Environment*, 103, 250–261. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.024>
23. Storino, G. (2017). Diseño y construcción de prototipo de chimenea solar para vivienda de interés social en el Valle del Cauca. <https://Medium.Com/>.
24. Sudprasert, S., Chinsorranant, C., & Rattanadecho, P. (2016). Numerical study of vertical solar chimneys with moist air in a hot and humid climate. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 102, 645–656. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.06.054>
25. Sundararaj, M., Rajamurugu, N., Anbarasi, J., Yaknesh, S., & Sathyamurthy, R. (2022). Parametric optimization of novel solar chimney power plant using response surface methodology. *Results in Engineering*, 16(August), 100633. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100633>
26. Tlatelpa-Becerro, A., Rico-Martínez, R., Urquiza-Beltrán, G., & Reynoso-Jardón, E. L. (2019). “Simulación numérica de una Chimenea Solar Vertical con Tres Canales de Flujo de Aire. *Revista*, 13–19. <https://doi.org/10.35429/jto.2019.12.3.13.19>
27. Velazco-lorenzo, D., & Butler-blacker, J. G. (2022). DESARROLLO DE UN MODELO EXPERIMENTAL DE UNA CHIMENEA SOLAR-EÓLICA PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO. 32, 13–27.
28. Wei, D., Qirong, Y., & Jincui, Z. (2010). A study of the ventilation performance of a series of connected solar chimneys integrated with building. *Renewable Energy*, 36(1), 265–271. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.06.030>
29. Yarke, E. (2005). Ventilación natural de edificios.

## Evaluación del funcionamiento de una chimenea solar como sistema pasivo de ventilación

---

©2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).