



# PREDICCIÓN DE TEMPERATURAS PARA USO EN VENTILACIÓN PASIVA

## TEMPERATURES PREDICTION FOR USE IN PASSIVE VENTILATION

Juan Pedro Ayala-Moreno<sup>1\*</sup>, Irene Marincic-Lovriha<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Posgrado en Humanidades, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Hermosillo, Sonora, 83000, México.

<sup>2</sup> Departamento de Arquitectura y Diseño, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Hermosillo, Sonora, 83000, México.

### RESUMEN

El objetivo de la investigación fue crear un modelo matemático de predicción para el control de los sistemas de ventilación pasiva en clima cálido seco. La propuesta consiste en utilizar la ventilación pasiva como sistema de enfriamiento en épocas de transición, es decir, en épocas cálidas pero que las temperaturas no son tan elevadas. El propósito es acortar el periodo de utilización de aire acondicionado con el fin de ahorrar energía. El modelo matemático se enfoca en la predicción de las temperaturas interiores en base a las temperaturas exteriores. Este modelo se desarrolló a partir de la caracterización, por medio de mediciones, del comportamiento térmico de la vivienda estudiada y de las características del clima local. Mediante correlación lineal y múltiple se desarrollaron fórmulas para predecir la temperatura interior con base en las variables más significativas del exterior. Se encontró que, para predecir la temperatura interior de las primeras 15 horas, es conveniente usar la temperatura promedio exterior del día anterior; para las horas restantes es conveniente usar la temperatura promedio exterior del mismo día.

**Palabras clave:** Ventilación natural, enfriamiento pasivo, modelo matemático.

### ABSTRACT

The aim of this research was to create a mathematical model to predict passive ventilation systems control in warm dry climate. The proposal is to use passive ventilation for cooling in transition seasons, i.e., in periods of warm weather but with temperatures not so high. The purpose is to shorten the period of air-conditioning use in order to save energy. The mathematical model focuses on predicting indoor temperatures based on outdoor temperatures. This model was developed from the characterization, by measurements, of the thermal performance of the studied house and from the local climate characteristics. By linear and multiple correlations, formulas were developed to predict the indoor temperature based on the most significant variables outdoor. It was found that, for predicting the indoor temperature for the first 15 hours, is convenient to use the average outdoor temperature of the previous day; for the remaining hours it is convenient to use the average outdoor temperature of the same day.

**Keywords:** Natural ventilation, passive cooling, mathematical model.

### INTRODUCCIÓN

En zonas de clima cálido extremo se presentan temperaturas tan altas que se ve afectado el bienestar físico de los seres humanos. Por esta razón, en la actualidad se resuelve tal problema con climatización artificial, que ha llevado a un gran consumo de energía, provocando la necesidad de mayor infraestructura para producción de la misma, encadenando así otro problema, además de económico, ambiental. Con tanta promoción hacia el consumismo de soluciones fáciles y la arbitrariedad en el desarrollo urbano, se ha olvidado la solución o el coadyuvante que daría la arquitectura pasiva.

La propuesta consiste en utilizar la ventilación pasiva nocturna como sistema de enfriamiento en épocas de transición, es decir, en épocas cálidas pero que las temperaturas no son tan elevadas. El propósito es acortar el periodo de utilización de aire acondicionado, y que, en la etapa anterior y posterior a éste, el enfriamiento se resuelva con ventilación pasiva nocturna. Como esta ventilación no puede utilizarse indiscriminadamente debido a las fluctuaciones de temperatura, la investigación se enfoca en la creación de un modelo matemático para predecir las temperaturas interiores y con ellas poder predecir el control de los dispositivos de ventilación pasiva por medio de un estudio de caso.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio experimental se llevó a cabo en un prototipo de vivienda bioclimática para clima cálido seco propuesto como resultado de la investigación interinstitucional "Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: Regiones de clima cálido seco y húmedo" (Marincic *et al.*, 2009), que fue construido dentro del campus central de la Universidad de Sonora, en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México.

Se utilizó para la medición de temperaturas interiores un sistema de monitoreo por medio de sensores marca HOBO serie U12. Los sensores se ubicaron al centro de cada uno de los espacios principales de la vivienda. Las mediciones de las temperaturas de bulbo seco interiores registradas por los sensores fueron promediadas, pues se toma la vivienda completa como un sólo espacio que funciona como un sólo sistema de ventilación, debido a su tamaño. Esta consideración se hace en base a Krüger y Givoni (2007), quienes consideran como un sólo espacio un apartamento de 55 m<sup>2</sup>. Para la medición de temperaturas exteriores se utilizó la

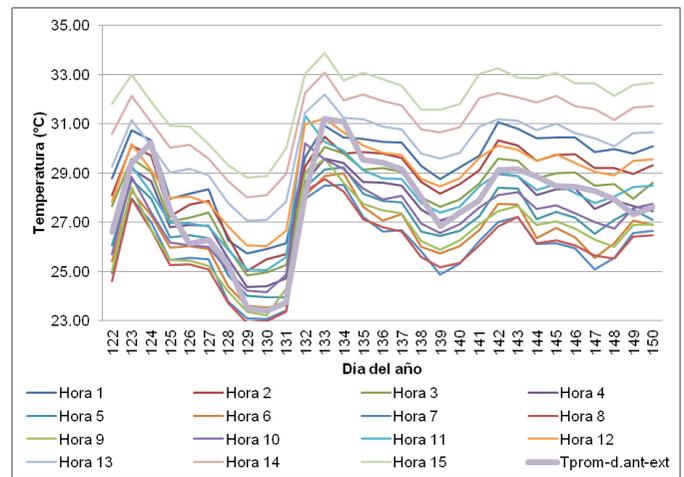
Estación Meteorológica del Laboratorio de Energía y Medio Ambiente (LEMA) de la Universidad de Sonora, ubicada a una distancia de 100 metros del modelo construido del prototipo de vivienda analizado. De ella se tomaron, para este estudio, los datos de temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento y radiación solar global.

El estudio consistió en dos etapas. En la primera se llevaron a cabo mediciones en base a monitoreo con sensores donde se recabaron datos como temperaturas interiores y exteriores, velocidad del viento y radiación solar; todo esto mientras se realizaban acciones de control de la ventilación pasiva siguiendo las siguientes reglas: a) abrir ventanas cuando temperatura interior sea 1°C mayor que temperatura exterior ( $T_{int}-T_{ext}>1^{\circ}\text{C}$ ) y b) cerrar ventanas cuando temperatura interior sea 1°C menor que temperatura exterior ( $T_{ext}-T_{int}>1^{\circ}\text{C}$ ) (Breesch *et al.*, 2011). En la segunda etapa del estudio se analizaron los datos recabados (utilizando hojas de cálculo de la herramienta informática Microsoft Excel) por medio de correlaciones lineales y múltiples y se desarrollaron fórmulas para predecir la temperatura interior en base a las variables más significativas del exterior (temperatura, velocidad del viento y/o radiación solar) (Givoni y Vecchia, 2001). De los datos recabados en las mediciones, a partir del análisis de correlación de temperaturas interiores con variables exteriores se determina que la variable exterior más significativa para predecir la temperatura interior en la vivienda monitoreada es la temperatura exterior, por lo que el modelo matemático se basa en esta premisa.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo matemático que se propuso se deriva del análisis y manejo de la etapa en que los dispositivos de ventilación pasiva fueron controlados para obtener una temperatura mínima posible dentro de la vivienda, lograda sólo por la manipulación de estos elementos.

Para describir mediante la media, mínima y máxima diarias y horariamente la temperatura interior de la casa-habitación, se encontraron los coeficientes de correlación lineal de la relación de las temperaturas interior promedio de cada una de las 24 horas del día y la media, mínima y máxima diarias con cada una de las siguientes variables: temperatura promedio exterior, temperatura mínima exterior, temperatura máxima exterior, temperatura promedio exterior del día anterior, temperatura mínima exterior del día anterior, temperatura máxima exterior día anterior. Se encontró que, para predecir la temperatura interior de las primeras 15 horas, es conveniente usar la temperatura promedio exterior del día anterior; para las horas restantes es conveniente usar la temperatura promedio exterior. Todos los coeficientes de correlación lineal resultaron mayores a 0.84 siendo la media 0.91. La Figura 1 muestra que las primeras 15 horas de temperatura interior pueden ser relacionadas con la temperatura promedio exterior del día anterior. Y la Figura 2 muestra que las últimas 9 horas de temperatura interior pueden ser relacionadas con la temperatura promedio exterior.



**Figura 1.** Gráfica que muestra temperaturas interiores de las primeras 15 horas y la temperatura promedio exterior del día anterior en periodo de monitoreo de mayo.

**Figure 1.** Graph showing indoor temperatures from the first 15 hours and the average outdoor temperature of the previous day in May monitoring period.

Para aumentar la posibilidad de predecir días con distinta distribución horaria se procedió a realizar regresiones lineales múltiples teniendo como variable Y la temperatura interior de cada hora, como X1 la temperatura exterior diaria de mejor correlación declarada en el párrafo anterior y como X2 la temperatura horaria exterior correspondiente a la misma hora interior. Todos los coeficientes de correlación lineal resultaron mayores a 0.88 siendo la media 0.93. De estas regresiones lineales múltiples resultaron las 24 fórmulas que conforman el modelo propuesto.

Se presenta a continuación la fórmula base con su respectiva tabla complementaria (ver Tabla 1):

$$T_{int i} = A * B + C * T_{ext i} + D$$

Donde: T es temperatura, *i* es la hora del día, A y C son coeficientes, B es una variable de temperatura y D es una intersección.

Se realizó una evaluación del modelo comparando las predicciones que arroja con los datos obtenidos en una etapa de medición en el mes de mayo.

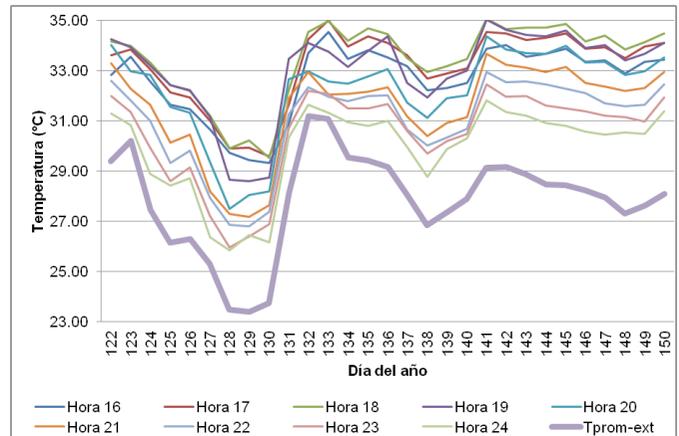
La Figura 3 muestra las temperaturas interiores medidas y calculadas en la tercera, octava y quinceava hora correspondientes al periodo de monitoreo de mayo. Se observa cómo los valores calculados con las fórmulas siguen a los medidos en estas 3 horas del día.

La Figura 4 muestra la correlación entre temperatura horaria interior medida y calculada para el periodo de monitoreo de mayo. El valor de correlación R es igual a 0.98.

**Tabla 1.** Tabla complementaria de la fórmula de Temperatura interior, con hora del día *i*, coeficientes *A* y *C*, variable *B* e intersección *D* para las fórmulas predictivas de las 24 horas del día.

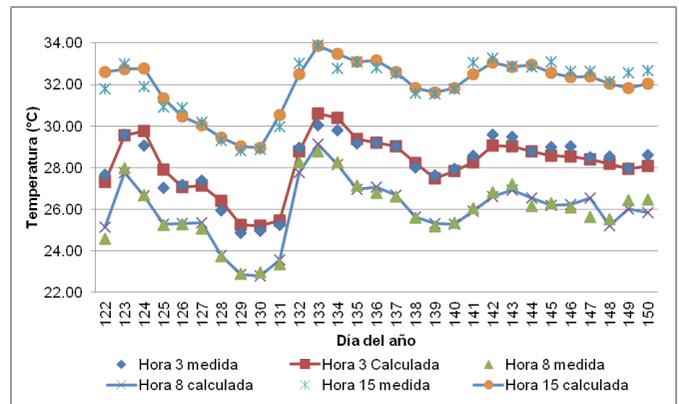
Table 1. Supplementary table from indoor temperature formula, hour of day *i*, coefficients *A* and *C*, variable *B* and intersection *D* to the predictive formulas for 24 hours a day.

<i>i</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
1	0.769	Temperatura exterior promedio del día anterior	-0.046	9.055
2	0.669	Temperatura exterior promedio del día anterior	0.027	9.495
3	0.610	Temperatura exterior promedio del día anterior	0.072	9.547
4	0.583	Temperatura exterior promedio del día anterior	0.103	9.113
5	0.517	Temperatura exterior promedio del día anterior	0.164	9.128
6	0.454	Temperatura exterior promedio del día anterior	0.222	9.210
7	0.425	Temperatura exterior promedio del día anterior	0.284	8.026
8	0.381	Temperatura exterior promedio del día anterior	0.367	6.584
9	0.444	Temperatura exterior promedio del día anterior	0.359	4.605
10	0.460	Temperatura exterior promedio del día anterior	0.229	7.768
11	0.513	Temperatura exterior promedio del día anterior	0.154	9.026
12	0.525	Temperatura exterior promedio del día anterior	0.135	10.080
13	0.495	Temperatura exterior promedio del día anterior	0.157	11.111
14	0.441	Temperatura exterior promedio del día anterior	0.196	12.182
15	0.411	Temperatura exterior promedio del día anterior	0.238	12.314
16	0.579	Temperatura exterior promedio	0.055	14.670
17	0.602	Temperatura exterior promedio	0.065	14.210
18	0.535	Temperatura exterior promedio	0.147	13.723
19	0.407	Temperatura exterior promedio	0.379	9.774
20	0.429	Temperatura exterior promedio	0.379	9.007
21	0.530	Temperatura exterior promedio	0.305	8.121
22	0.635	Temperatura exterior promedio	0.190	8.186
23	0.720	Temperatura exterior promedio	0.148	6.609
24	0.839	Temperatura exterior promedio	-0.033	7.373



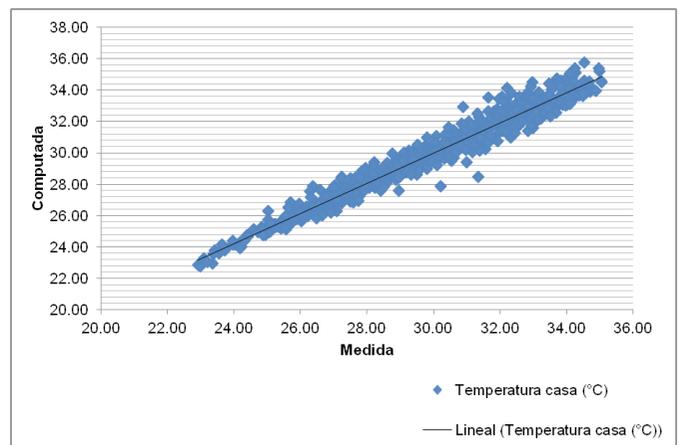
**Figura 2.** Gráfica que muestra temperaturas interiores de la hora 16 a la hora 24 del día y la temperatura promedio exterior del mismo día en periodo de monitoreo de mayo.

**Figure 2.** Graph showing indoor temperature from 16 to 24 hours and the average outdoor temperature of the same day in May monitoring period.



**Figura 3.** Gráfica de temperaturas interiores medidas y calculadas en la tercera, octava y quinceava hora correspondientes al periodo de monitoreo de mayo.

**Figure 3.** Graphic indoor temperatures measured and calculated in the third, eighth and fifteenth hour in May monitoring period.



**Figura 4.** Gráfica de correlación entre temperatura horaria interior medida y calculada.

**Figure 4.** Graph showing correlation between measured and calculated indoor temperature.

## CONCLUSIONES

Es posible predecir la temperatura promedio de las 24 horas del día en una vivienda de interés social, con reducido margen de error. El modelo matemático de predicción se podría utilizar, con reservas, para predecir las temperaturas interiores en viviendas con dimensiones, sistemas constructivos y área de ventanas similares (al modelo estudiado) en clima cálido seco.

El modelo matemático de predicción de temperaturas es utilizable para predecir el control de los sistemas de ventilación pasiva en clima cálido seco (Ayala y Marincic, 2014), es decir, para predecir cuándo es conveniente abrir o cerrar ventanas con el fin de utilizar la ventilación pasiva como sistema de enfriamiento en épocas de transición –en épocas cálidas pero que las temperaturas no son tan elevadas–. Como se mencionó al inicio, el propósito es acortar el periodo de utilización de aire acondicionado con el fin de ahorrar energía.

## AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Guadalupe Alpuche y a la Dra. Ana Borbón por su acertada guía. Al Dr. Ricardo Gallegos por su disposición y aportes. A la Universidad de Sonora y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

## REFERENCIAS

- Ayala, J. y Marincic, I. 2014. Predicción del control de los sistemas de ventilación pasiva para enfriamiento en clima cálido seco. *Academia Journals, Casos y Experiencias Compartidas en las Ciencias*, 01: 75-80.
- Breesch, H., De Meester, B., Klein, R. y Versele, A. 2011. Evaluation of passive cooling in low energy police office. PLEA 2011 - 27th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Louvain-la-Neuve, Belgium, 13-15 July 2011.
- Givoni, B. y Vecchia, F. 2001. Predicting thermal performance of occupied houses. The 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Florianópolis, Brazil, 7-9 November 2001.
- Krüger, E. y Givoni, B. 2007. Thermal monitoring and indoor temperature predictions in a passive solar building in an arid environment. *Proceedings of ISES World Congress 2007*.
- Marincic, I., Ochoa, J. M., Alpuche, M.G. y Gómez-Azpeitia, G. 2009. Adaptive Thermal Comfort in Warm Dry Climate: Economical dwellings in Mexico. PLEA2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada, 22-24 June 2009.