



Title: Diseño de un controlador para sistemas de refrigeración aplicando índice de confort térmico simplificado

Authors: ALEJO-CHAN, Francisco Javier, DÍAZ-MÉNDEZ, Sósimo Emmanuel y ALAZKI, Hussain

Editorial label ECORFAN: 607-8695
BCIERMMI Control Number: 2020-04
BCIERMMI Classification (2020): 211020-0004

Pages: 16
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
143 – 50 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		
Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

Introducción

El estudio del confort térmico es una tarea compleja debido en como los humanos perciben su ambiente y manejan sus condiciones, incluyendo tanto aspectos psicológicos o fisiológicos, pasando por características del ambiente.

El estrés por calor térmico es la causa de muchos trastornos ocupacionales que interrumpen el desempeño del trabajador y la calidad del trabajo e incluso proporcionando la muerte.

Además que actualmente los sistemas de aires acondicionados son importantes para la satisfacción y comodidad de las personas dentro de edificios, esto debido a que las personas se pasan entre un 80% a 90 % de su tiempo en estos lugares.

Por lo que es de gran importancia el calculo de confort en dichos lugares cerrados para que pueda coexistir un ambiente térmico agradable.

Metodología

Se utiliza como modelo del sistema una habitación que incorpora una etapa de refrigeración donde se suministra aire para enfriar el interior de la habitación.

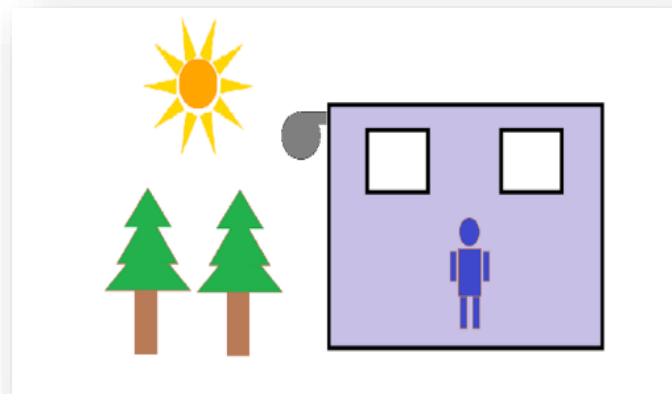


Figura 1 Sistema de una habitación con refrigeración.

Fuente: Elaboración propia

La representación matemática del sistema esta dada por la ecuación 1.

$$\frac{dT_{cv}}{dt} = \frac{\dot{Q}}{m_{cv}C_v} + \frac{\dot{m}_{in}C_p}{m_{cv}C_v} (T_{in} - T_{room}) \quad (1)$$

Modelo del índice de confort térmico PMV

Es un índice denominado Voto Medio Previsto (PMV), que predice una escala de sensación térmica de los ocupantes en un espacio cerrado. Actualmente es el más utilizado en los estándares internacionales para medir los niveles de confort dentro de los edificios y los representa en una escala de siete niveles como se puede apreciar en la tabla 1, que consiste en los valores de -3 (mucho frío) a 3 (mucho calor).

PMV	Sensación térmica
+3	Mucho calor
+2	Cálido
+1	Ligeramente cálido
0	Neutro
-1	Ligeramente frío
-2	Frío
-3	Muy frío

Tabla 1 Escala de Sensación Térmica

Fuente: (ISO,2005)

Modelo del índice de confort térmico PMV Estándar

En la metodología para calcular el índice se tiene presente el uso de seis variables: el nivel de actividad o metabolismo (M_{et}), aislamiento térmico de la ropa (I_{cl}), la temperatura del aire (T_a), la humedad relativa (R_h), la velocidad del aire (v) y la temperatura radiante media (T_{mr}).

La ecuación para calcular el índice es la representada en 2

$$PMV = (0.325e^{-0.042M_{et}} + 0.028)L \quad (2)$$

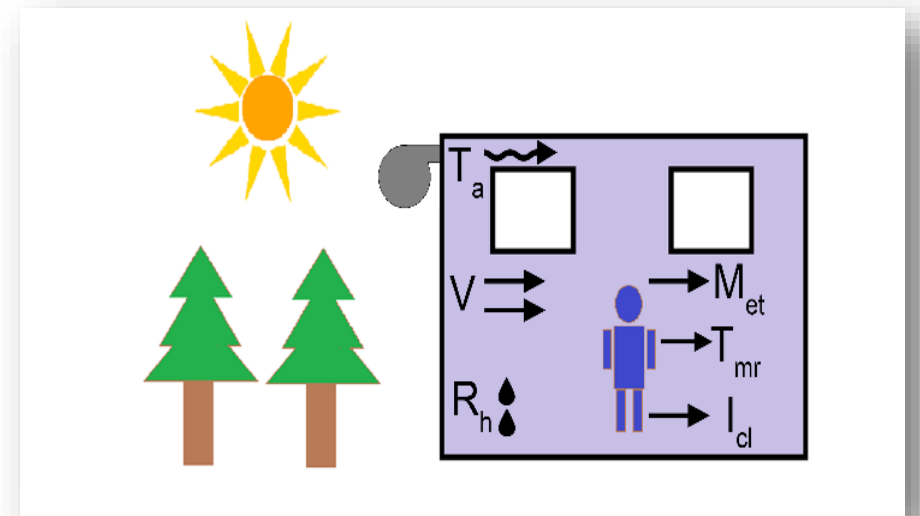


Figura 2 Sistema de refrigeración de una habitación con representación de variables del índice PMV.

Fuente: Elaboración propia

Modelo del índice de confort térmico PMV Estándar

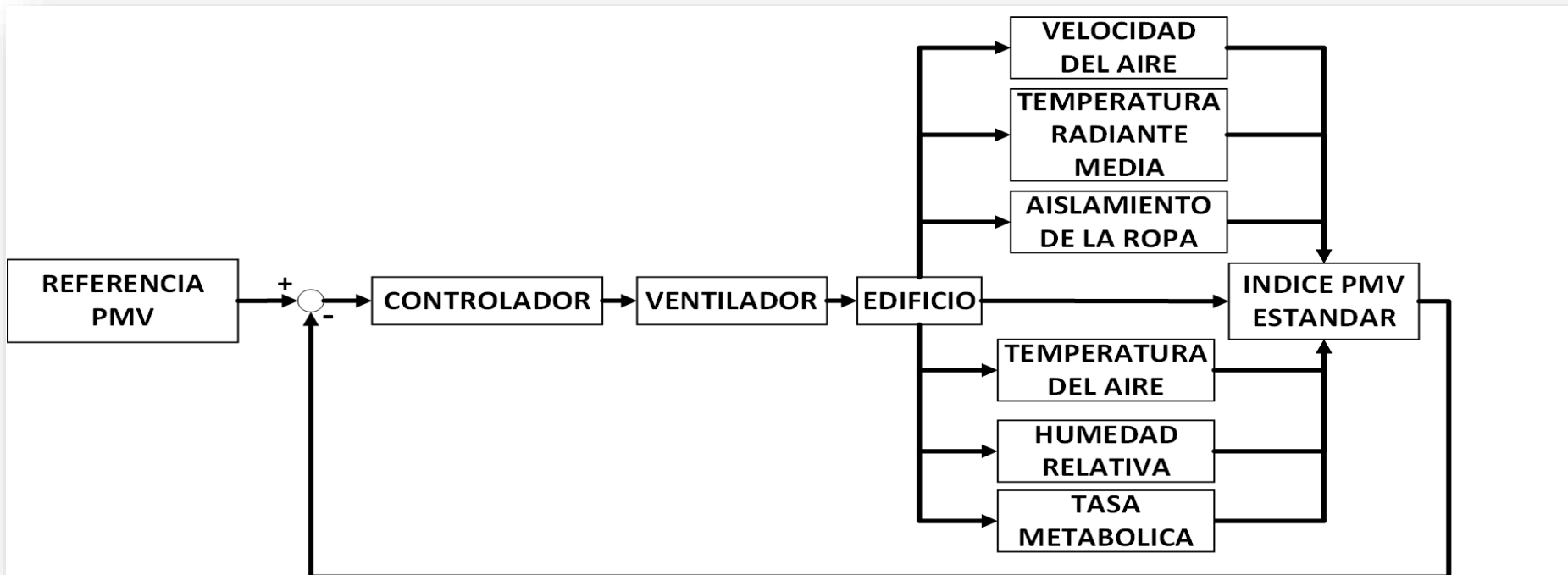


Figura 3 Diagrama de bloques representando el sistema con el índice de confort térmico estándar de seis variables.

Fuente: Elaboración propia

Modelo del índice de confort térmico PMV Simplificado

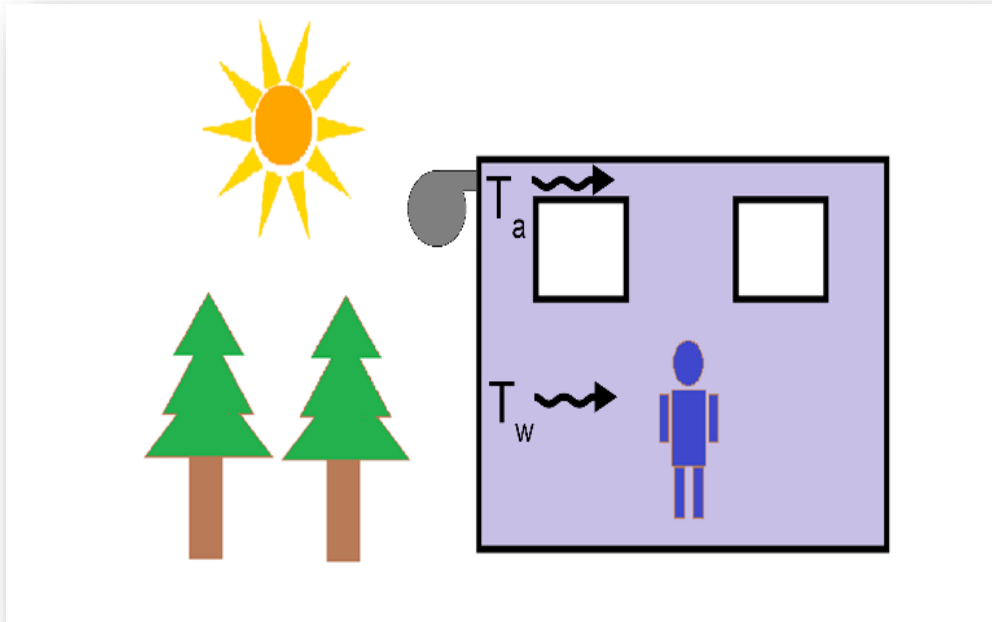


Figura 3 Sistema de refrigeración de una habitación con representación de variables del índice de confort térmico simplificado EsConTer.

Fuente: Elaboración propia

Este índice se presenta en forma de una escala térmica basada en el índice PMV estándar que establece la norma americana ASHARAE-55.

Donde T_a (°C) es la temperatura del aire y T_w (°C) es la temperatura de bulbo húmedo.

La fórmula del índice de confort térmico simplificado es la siguiente mostrada en 3.

$$\text{EsConTer} = -3.75 + 0.103(T_a + T_w) \quad (3)$$

Modelo del índice de confort térmico PMV Simplificado

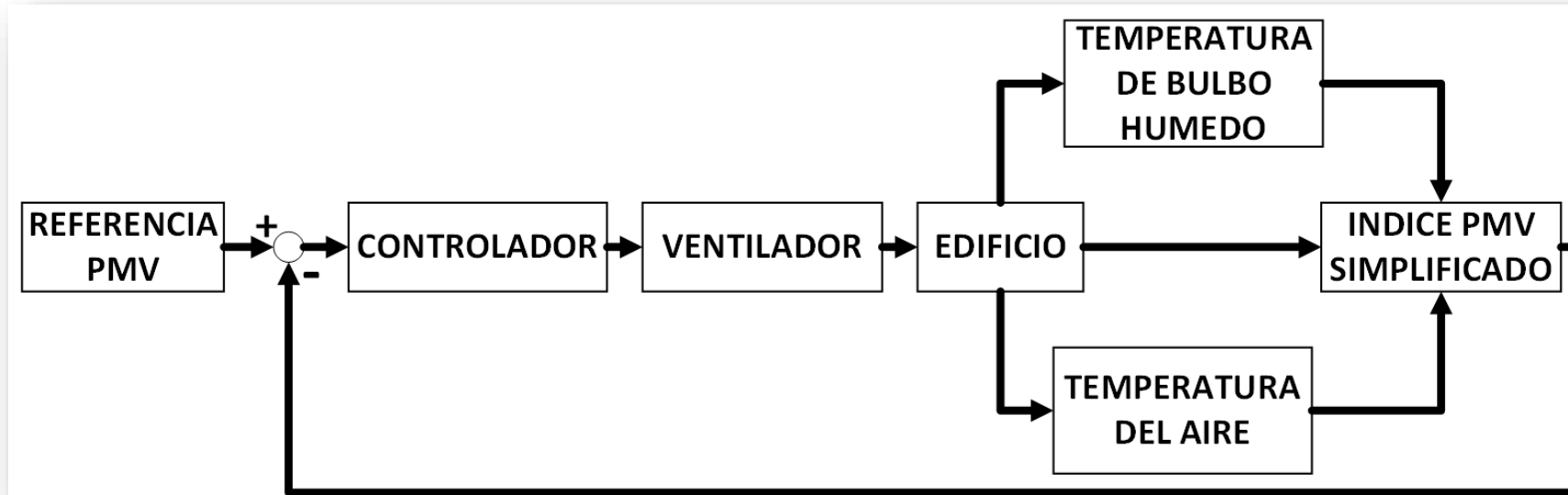


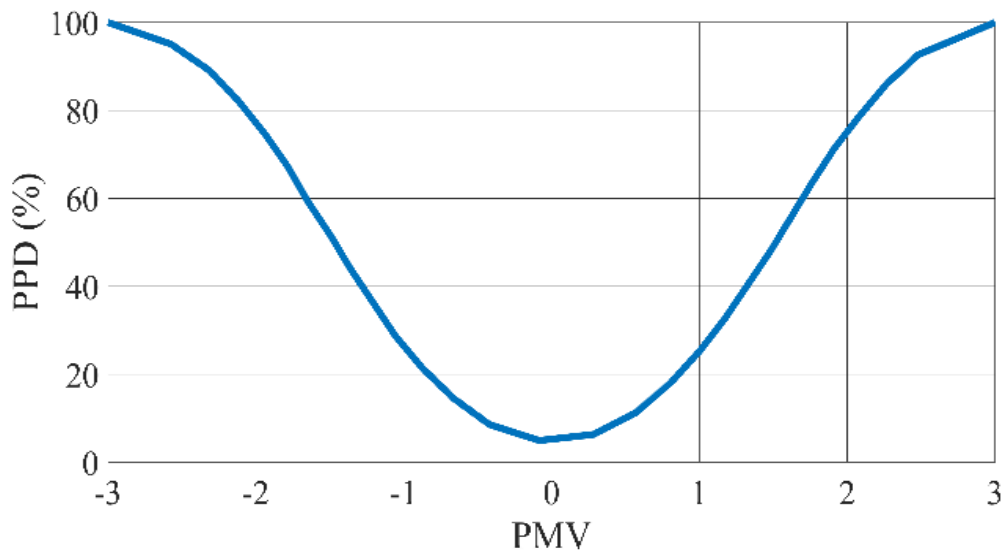
Figura 5 Diagrama de bloques representando el sistema con el índice de confort térmico simplificado.

Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPD)

A consecuencia del índice PMV, se presenta otro índice asociado, el cual se le nombra Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPD). Este índice establece una predicción cuantitativa del porcentaje de personas térmicamente insatisfechas, lo que quiere decir cuál es el porcentaje de personas que sienten demasiado frío o demasiado calor.

Si el valor del índice PMV se encuentra cercano al neutro, es decir a cero, el porcentaje de personas insatisfechas será aproximadamente de 5%.



La relación del índice PMV-PPD se puede observar en la gráfica 1.

Gráfica 1 PPD en función al índice PMV

Fuente: (ISO,2005)

Consideraciones para la simulación

Para simular las condiciones de las variables del modelo de confort PMV de las ecuaciones (2) se considera lo siguiente.

- Dado las condiciones típicas de una oficina $T_a = T_{mr}$
- La velocidad del aire se toma, $v = 0.15 \text{ m/s}$.
- Se considera un porcentaje de humedad relativa, $R_h = 50\%$.
- Aislamiento térmico típico de un traje de negocios, $I_{cl} = 1.0 \text{ clo}$
- Rango metabólico de una persona en estado de reposo, $M_{et} = 1.2$

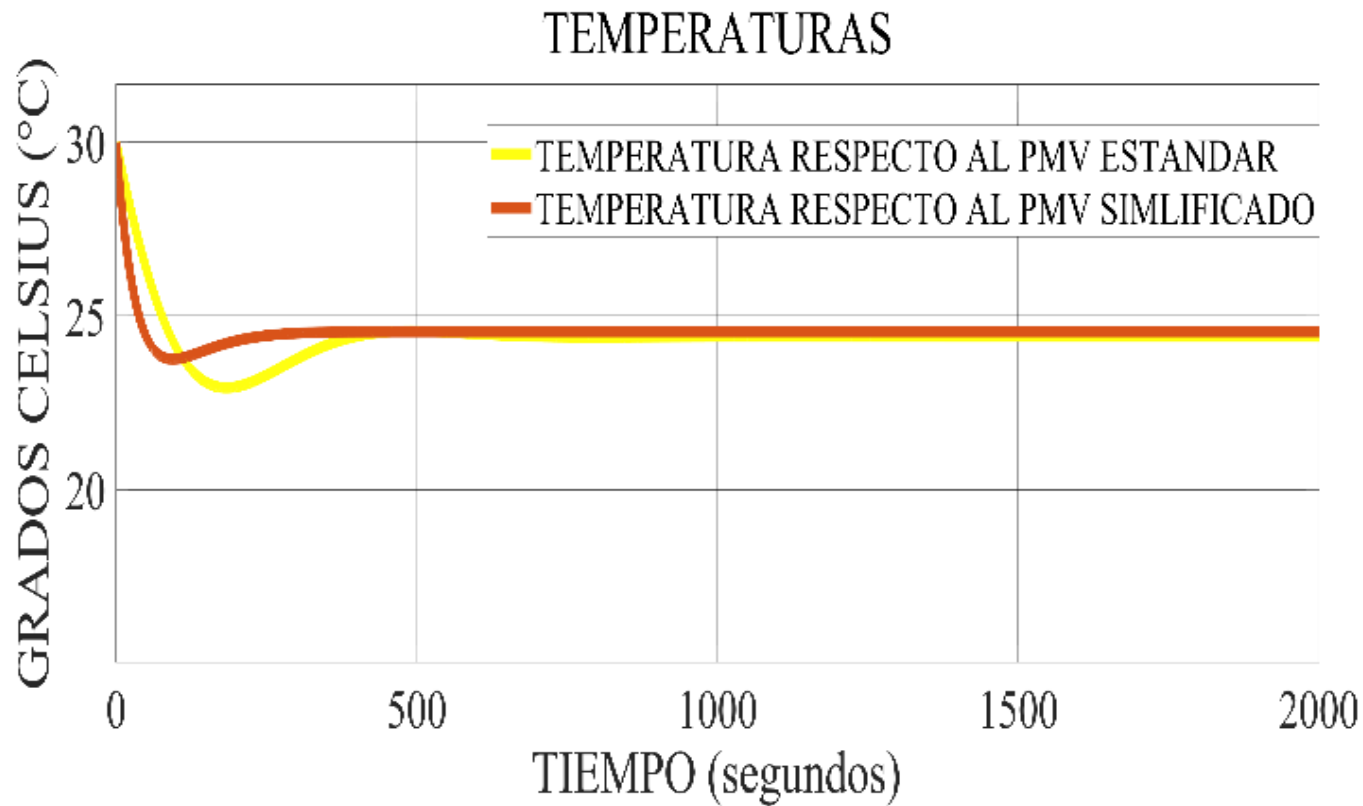
Resultados

Para las simulaciones se toma como valor de referencia neutro de la escala PMV el cual es cero y 5% para el índice PPD.

Los resultados se obtuvieron aplicando a la simulación los mismos valores de PID para ambos índices de confort lo cual dio parte para realizar comparaciones entre los dos índices.

Los valores de ganancia PID utilizados son los siguientes, proporcional en 500, integrador en 5.5 y derivador en 10.

Resultados



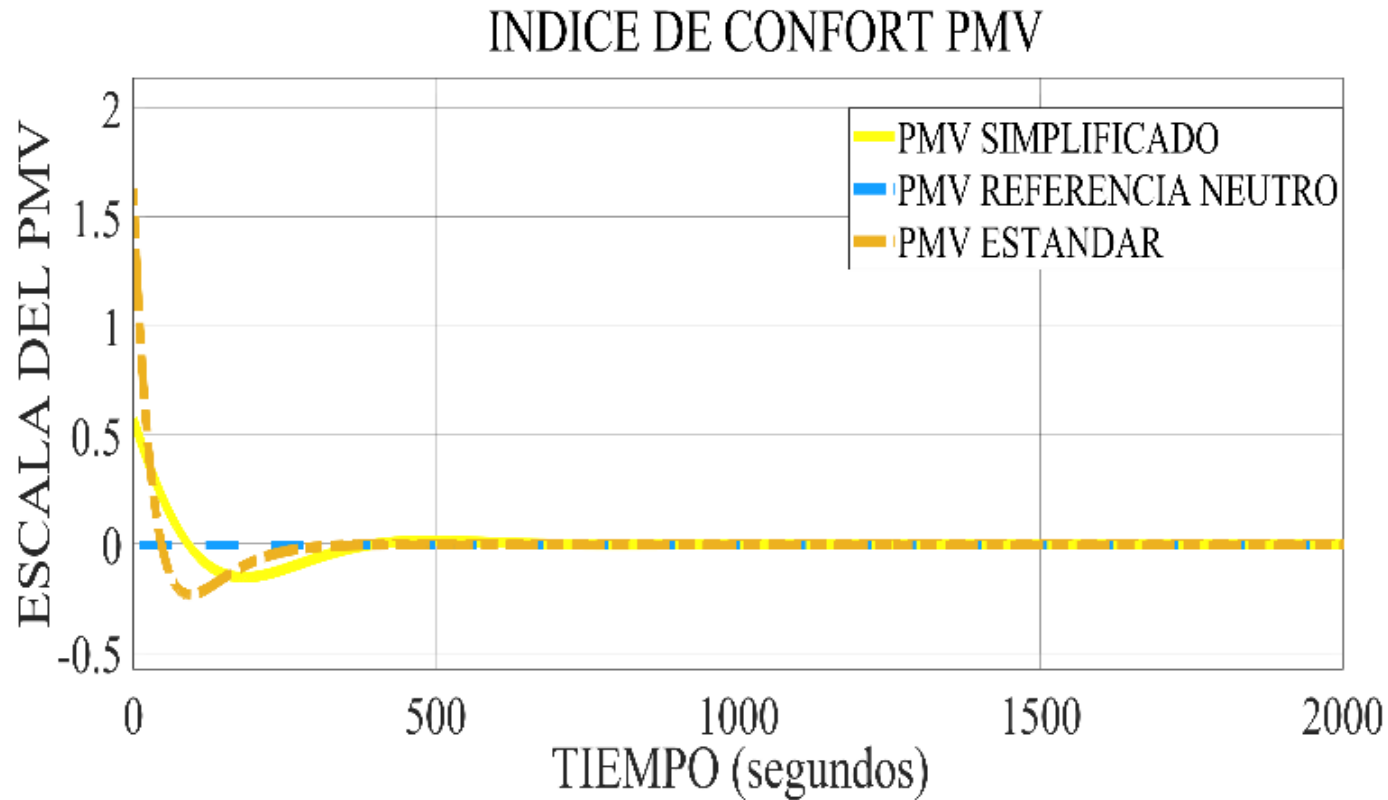
La gráfica 1 proporciona las temperaturas que se obtuvo con ambos índices de confort térmico.

Donde se observa que la temperatura resultan ser semejantes en aproximadamente 25 ° C cuando alcanza la estabilidad.

Grafica 1 Comparación de Temperaturas de los índices de confort térmico.

Fuente: Elaboración propia

Resultados

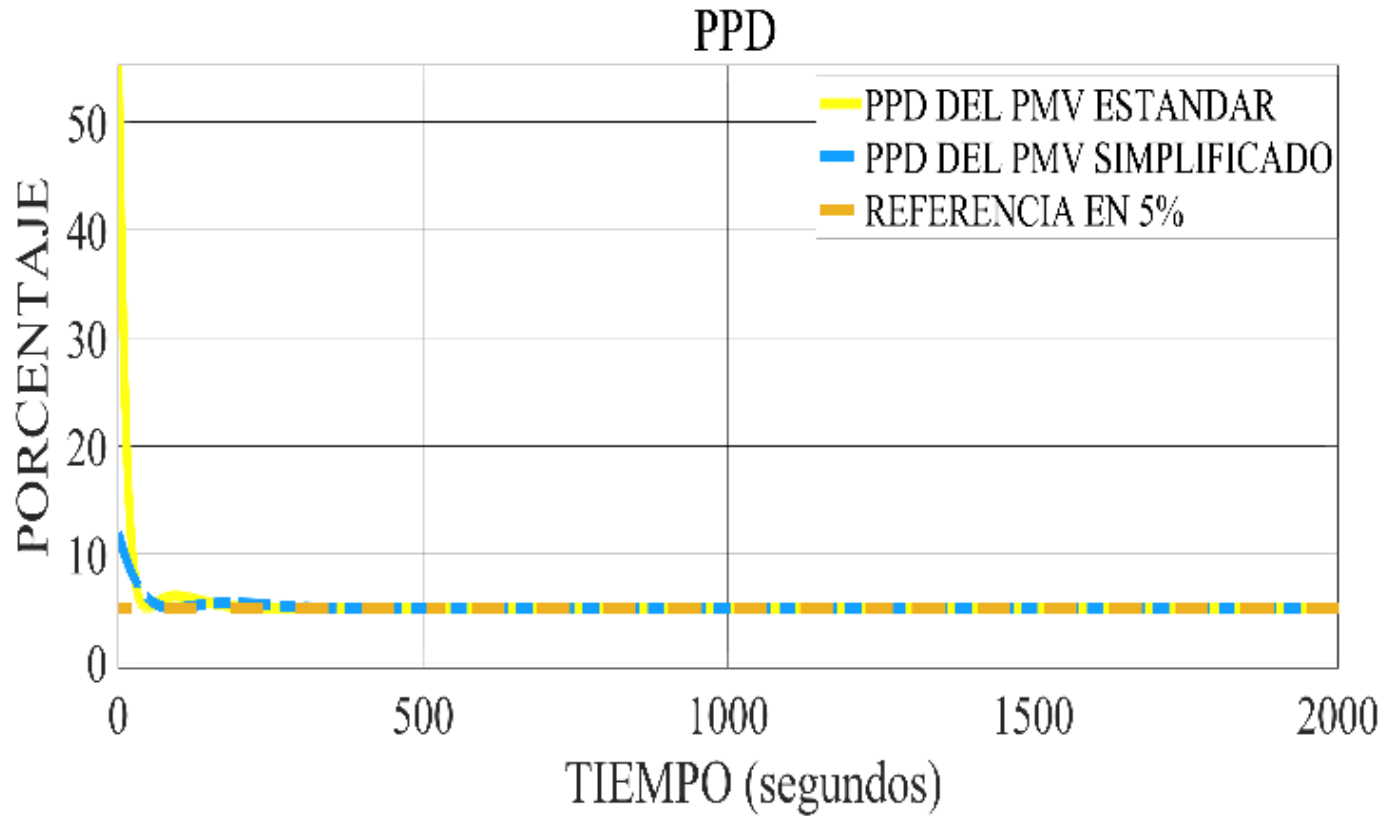


Con respecto a las escalas de confort dentro del edificio, la gráfica 2 muestra el resultado obtenido mediante los modelos de confort térmico. Cabe mencionar que el valor deseado debía ser del valor neutro de la escala, es decir cero.

Grafica 2 Comparación de las escalas de confort térmico.

Fuente: Elaboración propia

Resultados



Los resultados del porcentaje de personas insatisfechas (PPD) en base a los índices de confort térmico se observa en la gráfica 3. Cabe mencionar que el valor deseado es aproximadamente 5 %.

Grafica 3 Comparación PPD en base a los índices PMV.

Fuente: Elaboración propia

Conclusión

Las simulaciones mostraron comparaciones entre ambos modelos, donde se obtienen resultados muy similares entre ellos. El modelo con el índice de confort térmico simplificado obtuvo valores deseados bajo las condiciones que se plantearon al momento de realizar las simulaciones.

Los valores de temperatura en ambos modelos presentaron ser semejantes, el valor de confort térmico PMV en ambos casos convergen al deseado y lo mismo sucede en cuanto al porcentaje de personas insatisfechas (PPD).

Por lo que se concluye que aplicando un control en el modelo de confort térmico simplificado puede usarse como sustitución al modelo de confort térmico estándar.

Agradecimiento a CIERMMI 2020 y a la Universidad Autónoma del Carmen por la facilidades obtenidas.

Referencias

- ASHRAE. (2013). ANSI/ASHRAE 2013. Standard 55-2013, Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, GA, USA.
- Bejan, A. T. (1995). Thermal design and optimization. John Wiley & Sons.
- Croitoru, C. &. (2015). Thermal comfort models for indoor spaces and vehicles—Current capabilities and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*, 304-318.
- d'Ambrosio Alfano, F. R., Olesen, B. W., Palella, B. I., & Riccio, G. (2014). Thermal comfort: Design and assessment for energy saving. *Energy and Buildings*, 326-336.
- Energy, D. o. (2017). Department of Energy, Buildings energy databook, Office of Energy, Efficiency & Renewable Energy. Washington, DC.
- Federspiel, C., & Asada, H. (1992). User-Adaptable Comfort Control for HVAC Systems. American Control Conference. Chicago, IL, EE. UU., EE. UU.
- Hamdi, M., & Lachiver, G. (1998). A Fuzzy Control System Based on. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems Proceedings. IEEE World Congress on Computational Intelligence.* Anchorage, AK, USA.
- Hana, H., Lee, J., JonghunKim, Jang, C., & Jeong, H. (2014). Thermal Comfort Control Based on a Simplified Predicted Mean Vote index. *Energy Procedia*, 61, 970-974.
- ISO. (2005). *ISO 7730: 2005 Ergonomics of the thermal environment., Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.*
- Klein, M. J. (1967). Thermodynamics in Einstein's thought. *Science*, 509-516.
- Kolich, M., Line, J., & Akbar Berry, S. M. (2017). A Review of Human Physiological, Psychological & Human Biomechanical Factors on Perceived Thermal Comfort of Automotive Seats. SAE Technical Paper.
- Mar, C. M., Álvarez, J., Julio, N.-R., Francisco, R., & M., B. (2014). Control predictivo no lineal del confort térmico y calidad de aire. XXXV Jornadas de Automática.
- Mohammed, J. A.-K., Mohammed, F. M., & Jabbar, M. A.-S. (2018). Investigation of high performance split air conditioning system by using Hybrid PID controller. *Applied Thermal Engineering*, 129, 1240-1251.
- Morgado, M. T. (2015). Creating productive workers in industrial context from the Definition of Thermal Comfort. *Int. J. Ind. Eng. Manag.* 75-84.
- Morgado, M., MárioTalaia, & LeonorTeixeira. (2017). A new simplified model for evaluating thermal environment and thermal sensation: An approach to avoid occupational disorders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 60, 3-13.
- P. Bermejo, L. R. (2012). Design and simulation of a thermal comfort adaptive system based on fuzzy logic and on-line learning. *Energy and Buildings*, 367-379.
- P.O., F. (1972). Thermal comfort analysis and applications in environment engineering. Copenhagen, Denmark: Danish Technical Press.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)