

Prototipo IoT para el cálculo del índice de comodidad de Terjung en El Salvador

An IoT Prototype for the Calculation of Terjung's Comfort Index in El Salvador



URI: <http://hdl.handle.net/11298/1317>
DOI: <https://doi.org/10.5377/entorno.v1i76.17472>

Edwin Alberto Callejas
edwin.callejas@utec.edu.sv,
Universidad Tecnológica de El Salvador
Facultad de Informática y Ciencias Aplicadas
edwin.callejas@utec.edu.sv
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6718-2270>

Juan Jose Amides Figueroa
juanfigueroa@ambiente.gob.sv
Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador
juanfigueroa@ambiente.gob.sv
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7928-5330>

Victor Miguel Cuchillac Callejas
vcuchillac@ufg.edu.sv
Universidad Francisco Gavidia
Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación,
vcuchillac@ufg.edu.sv
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2822-1177>

Recibido: 16 de noviembre 2023
Aprobado: 5 de diciembre 2023

Resumen

Entre las tecnologías que ofrece la industria 4.0, se encuentra el internet de las cosas (IoT), que permite el desarrollo de dispositivos que ofrezcan funcionalidades de recolección de datos de características ambientales y que, a través de su seguimiento y control se ayude a disminuir los efectos del cambio climático. La importancia de monitorear la humedad y la temperatura ambiental y su incidencia en las actividades humanas tiene una gran relevancia asociada a los efectos del cambio climático en la salud, la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de la población salvadoreña. Por tal motivo, se ha desarrollado una adaptación

Abstract

Among the technologies offered by the 4.0 industry 4.0, is the Internet of Things (IoT). This allows for the development of devices that offer data collection features of the environment; through their monitoring and control, these help reduce the effects of climate change. The importance of monitoring humidity and ambient temperature and its impact on human activities is of big relevance in relation to the effects of climate change on health, food security and the economic development of the Salvadoran population. Given this, an adaptation of the equation that relates temperature and humidity has been developed in order to calculate the

de la ecuación que relaciona las variables meteorológicas temperatura y humedad para calcular la sensación térmica y categorizar su valor con el índice de comodidad desarrollado por Terjung a través de los datos provenientes de un dispositivo IoT (internet de las cosas) que se conecta mediante una API previamente configurada para registrar los valores obtenidos en una infraestructura de *big data* para luego aplicar algoritmos de inteligencia artificial que permitan predecir y segmentar la información de la comodidad térmica en El Salvador.

Palabras clave

Inteligencia artificial, clima en El Salvador, Industria 4.0, índice de comodidad térmico, cambio climático.

thermal sensation and categorize its value with the comfort index developed by Terjung by using the data that comes from an IoT device. This device is connected through an API that has been previously configured to record the values obtained in a Big Data infrastructure and then apply artificial intelligence algorithms to predict and segment the thermal comfort information in El Salvador.

Key words

Climatology (artificial intelligence), adaptation of technology, El Salvador – Weather, effects of temperature, Humankind – influence in the environment, 4.0 industry, IoT device, comfort index, climate change.

Introducción

La investigación hace referencia a los esfuerzos que realiza el ser humano en sus intentos por obtener caracterizaciones de su entorno con el fin de llevar a cabo sus actividades de manera eficiente y sin riesgos. Se hace referencia a las caracterizaciones climáticas realizadas por la humanidad centradas en las variables de temperatura y de la humedad ambiente y cómo estas variables meteorológicas tienen una importante incidencia en la sensación de comodidad en el clima. Bajo condiciones extremas, estas variables pueden llegar a ser incapacitantes e incluso poner en riesgo la vida, por ello se mencionan algunos índices que se han diseñado para establecer relaciones entre estas variables que indican la comodidad en la temperatura del ambiente, entre los cuales destaca el índice de comodidad de Terjung, el cual relaciona la humedad relativa y la temperatura ambiente para decir cuál será la sensación de comodidad del ser humano al aire libre. Este índice se utiliza especialmente en regiones como México y Centroamérica, dado que Terjung no relacionó las variables de forma matemática explícita

en una ecuación, sino solo mediante el uso de una tabla bioclimática. Este método ofrece limitantes para su uso masivo, por lo que se procedió a realizar una adaptación de la ecuación de sensación térmica por calor, dada por la relación entre las variables meteorológicas temperatura y humedad relativa con las categorías propuestas por Terjung para hacer posible el cálculo matemático del índice de comodidad térmica a través de un dispositivo IoT basado en el microcontrolador NodeMCU y el sensor de temperatura y humedad relativa DTH11, capaz de enviar los registros de las variables a una API previamente preparada y conectada a una infraestructura de *big data*, que posteriormente son utilizados para calcular el índice de comodidad de Terjung. Las interpretaciones de los resultados se han diseñado para ser que sean fáciles de interpretar a través de gráficas obtenidas en tiempo real.

Preliminares

Toda actividad humana es influenciada por las condiciones atmosféricas, el tiempo y el clima juegan

un papel innegable sobre cada ser vivo, especialmente para el humano, cuya naturaleza es adaptarse a su entorno transformándolo mediante el uso de recursos y herramientas. Desde la toma de decisión para usar uno u otro tipo de ropa para una determinada situación hasta el lanzamiento de naves espaciales, las condiciones del tiempo y el clima son determinantes; debido a esto, la humanidad ha dedicado importantes esfuerzos en múltiples ocasiones de caracterizar el clima, con el fin de intentar comprenderlo y adaptarse, con el objetivo de realizar con éxito y eficacia sus actividades.

Las temperaturas extremas generan efectos en el cuerpo humano altamente relevantes, las actividades humanas se afectan al grado de volverse imposibles sin el uso de equipos aislantes que protejan el cuerpo de las inclemencias del medioambiente, por ejemplo, el uso de guantes que protegen del frío y congelamiento a temperaturas bajo cero, trajes de neopreno que protegen de la hipotermia por inmersión en aguas gélidas, o, por el extremo cálido, el uso de ropa ligera ante el calor extenuante, la ingesta de bebidas hidratantes para mejorar la exposición a altas temperaturas se vuelve imprescindible para el desarrollo de actividades al aire libre como la agricultura y la construcción de carreteras y edificios.

La comodidad o confort climático se refiere al equilibrio energético que debe prevalecer entre los individuos y el medio que los rodea; puede ser definido como el conjunto de condiciones ambientales en que la mayoría de las personas manifiestan sentirse bien. (Fernández, 1996, como se citó en Loza-Ramírez et al., 2013)

El confort climático señala los límites de temperatura donde la mente humana expresa sentirse en armonía con su entorno. Tal es la importancia de las condiciones térmicas en las actividades humanas que existen esfuerzos realizados a lo largo de la historia que intentan caracterizar la comodidad humana ante la temperatura para comprender las condiciones medioambientales presentes y futuras con el fin de prepararse ante ellas.

Uno de estos esfuerzos de caracterización es el llamado *Índice de Temperatura y Humedad* (ITH):

Este índice se utiliza para evaluar la comodidad térmica en ambientes cálidos y húmedos. El ITH se basa en la temperatura del bulbo seco y la humedad relativa del aire. Un valor de ITH superior a 70 indica una condición de estrés térmico. (Acero, 2007)

Bajo la misma idea se ha desarrollado:

El Índice de Temperatura de Globo y Termómetro (ITGT). Este índice mide la carga térmica total en ambientes cálidos y secos. El ITGT utiliza la temperatura del globo, la temperatura del bulbo seco y la velocidad del viento para calcular un índice de confort térmico, un valor de ITGT inferior a 29 indica una condición de confort térmico. (Givoni, 1998)

También, se desarrolló:

El Índice de Temperatura Equivalente (ITE) que se utiliza para evaluar la comodidad térmica en ambientes fríos y húmedos. El ITE se basa en la temperatura del bulbo seco y la velocidad del viento. Un valor de ITE inferior a -5°C indica una condición de estrés térmico. (Eley, s. f.)

Otro ejemplo de los esfuerzos por caracterizar los efectos de la temperatura son los índices de comodidad que relacionan variables meteorológicas del ambiente sin tomar en cuenta las condiciones interiores de edificaciones, como el caso del:

Índice de Estrés Térmico (IET), el cual se utiliza para evaluar la carga térmica total en ambientes cálidos y húmedos. El IET se basa en la temperatura del bulbo seco, la humedad relativa y la velocidad del viento. Un valor de IET superior a 28 indica una condición de estrés térmico. (National Weather Service, 2018)

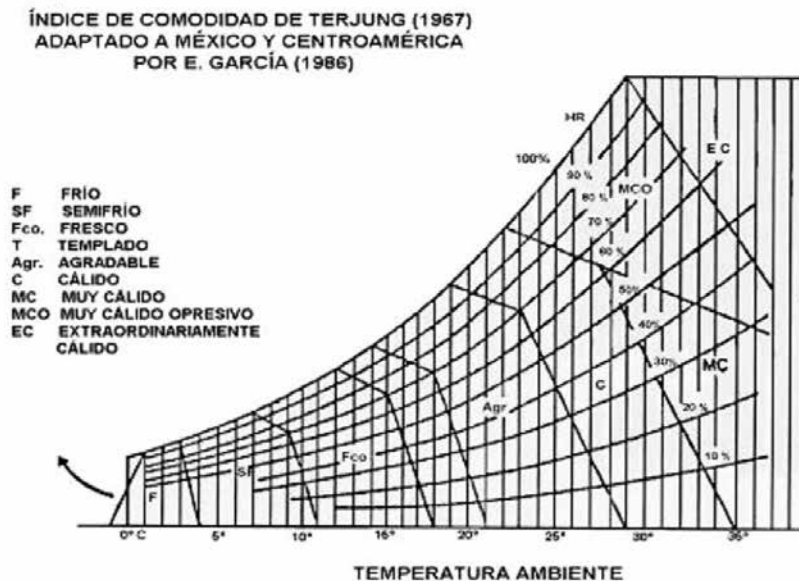
En la investigación, se ha optado por utilizar el índice de comodidad de Terjung, que desarrolló un diagrama bioclimático que relaciona la temperatura y la humedad relativa del ambiente para identificar dónde se disfruta de un ambiente más agradable u opresivo según la escala que logró determinar a partir de la relación existente entre el cálculo de estas dos variables y las constantes de una zona geográfica determinada.

El índice de confort climático de Terjung se basa en la combinación de la temperatura del aire con la humedad relativa para definir áreas de confort. Las temperaturas en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) están representadas en el eje de las abscisas, y las humedades relativas en porcentajes (%) figuradas en curvas. Esto quiere decir que toda

situación de temperatura y humedad relativa a lo largo del año está simbolizada por un punto situado dentro de una de las llamadas áreas de confort. De acuerdo con el Ministerio de Obras Públicas y de Transportes (MOPT, 1992), Terjung (1966) combinó los valores del índice de bienestar de Thom (1959) y el índice de enfriamiento por el viento de Court (1948) para diseñar su índice de bienestar, el cual fue modificado por García (1986), estableciendo las siguientes categorías para México y Centroamérica: (F) Frío, (SF) Semifrío, (Fco) Fresco, (T) Templado, (AGR) Agradable, (C) Cálido, (MC) Muy Cálido, (MCO) Muy Cálido Opresivo y (EC) Extraordinariamente Cálido. según se muestra en la siguiente figura. (Loza-Ramírez et al., 2012)

Figura 1

Áreas de confort según el índice de bienestar climático de Terjung



Fuente: Terjung, 1967; García, 1986, como se citó en Loza-Ramírez et al, 2012.

Los análisis meteorológicos, predicciones y avisos de tiempo violento en tiempo real necesitan del esfuerzo de realizar mediciones constantes de las variables meteorológicas como la temperatura y la humedad para lograr mantener un observatorio permanente

de las condiciones meteorológicas, ambientales y geofísicas que facilitan el estudio del clima, para las operaciones locales sensibles a las condiciones meteorológicas (por ejemplo, operaciones locales de vuelo en aeródromos o trabajos de construcción en

instalaciones terrestres y marítimas), para la hidrología y la meteorología agrícola, y con fines de investigación meteorológica y climatológica. (Organización Meteorológica Mundial, 2017)

El cambio climático constituye una de las razones principales para mantener en tiempo real las observaciones meteorológicas:

Como se menciona en el artículo “Cambio climático y riesgos alimentarios”, que hace referencia al quinto informe del IPCC, en el cual se contemplan varios escenarios de emisiones, de manera que la proyección del gas CO₂ para el año 2100 incrementaría su concentración en la atmósfera.

Como consecuencia del aumento de los gases de efecto invernadero (GEI), entre los que el CO₂, es el más importante, la temperatura media global ha aumentado 0.61 °C (0,55-0,67) en el promedio del período 1986-2005 respecto del promedio del período 1850-1900 y este incremento sería de 1.6 °C (0,8-2,2) según las proyecciones calculadas para el año 2100 en el escenario de bajas emisiones y de 4.7 °C (3.4-6.0) en el escenario de emisiones más desfavorable.

El incremento de la concentración de CO₂ y de la temperatura media produciría en teoría un aumento en el rendimiento de los cultivos, ya que ambos son factores favorecedores del crecimiento vegetal, redundando en una mayor disponibilidad de alimentos para la creciente población humana y para la alimentación de animales destinados a producir alimentos de origen animal. (Mirón Pérez, 2017)

Sin embargo, puede que esto no sea así, puesto que otros efectos producidos por el cambio climático, como el incremento en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos (olas de calor, lluvias torrenciales, períodos de sequía extrema, entre otros) podrían estar influyendo en sentido negativo en el rendimiento de los cultivos y otros sectores productores de alimentos.

Del mismo modo, un aumento en la temperatura media global podría corresponderse con un aumento en las enfermedades transmitidas por alimentos, ya que potencialmente podría ampliar el ciclo estacional (verano) en el que actualmente se concentra el mayor número de casos de estas enfermedades en humanos. (Mirón Pérez, 2017)

Por ello, es relevante monitorear, estudiar y clasificar el clima para entender el cambio climático y su impacto, con el objetivo de adaptación y construir una sociedad resiliente ante las condiciones climáticas presentes y futuras.

En la Universidad Tecnológica de El Salvador existen antecedentes de investigaciones relacionadas con el desarrollo de dispositivos electrónicos para registrar condiciones ambientales, tal es el caso de la investigación “Sistema telemático de monitoreo de calidad del aire en zonas remotas, utilizando técnicas IoT y *big data*”, desarrollado en el 2019, la cual se centra en el diseño e implementación de una estación de monitoreo de la calidad del aire mediante el desarrollo de prototipos electrónicos con base en componentes electrónicos de bajo costo conectados a una nube IoT. (Flores Cortez et al., 2019)

Como parte del quehacer tecnológico y de innovación continua en la Utec, se planteó el desarrollo e implementación de un dispositivo inteligente capaz de medir la temperatura y la humedad relativa y, a su vez, estos datos se enviarán a una base de datos no relacional para su posterior análisis y estudio. Para la realización de este objetivo, fue necesario investigar antecedentes que permitieran construir el experimento desde una base sólida, dicha investigación bibliográfica concluyó en el conocimiento de algunos dispositivos elaborados específicamente para sectores como el agrícola, enfocados al riego inteligente de ciertos cultivos, tal es el caso de los artículos científicos siguientes:

- *Smart Agriculture to Measure Humidity, Temperature, Moisture, Ph., and Nutrient*

Values of the Soil using IoT (Mutyalamma et al., 2020).

- *Sensor and cloud based smart irrigation system with Arduino: a technical review* (Patel et al., 2019).

Sin embargo, estas investigaciones están enfocadas a un sector específico, por lo que se considera que existe una necesidad poco abordada acerca de caracterizar la comodidad térmica en general, para que este conocimiento sea aplicable a otros sectores posteriormente, por lo que, tomando en cuenta los referentes antes citados, se procedió diseñar de un dispositivo que fuera capaz de registrar la temperatura y la humedad relativa, para posteriormente, con la información obtenida, calcular el índice de comodidad de Terjung adaptado a México y Centroamérica aplicando algoritmos de inteligencia artificial y ciencia de datos.

Descripción del modelo

En un primer momento, se diseñó un dispositivo basado en la placa Arduino Uno, que corresponde a un conjunto de componentes electrónicos que juntos forman una pieza de *hardware* que sirve para desarrollar proyectos de código abierto en los que es posible interconectar sensores y otros dispositivos electrónicos con el fin

de llevar a cabo tareas específicas como automatizar el encendido y apagado de luces, la alimentación automatizada de animales y el caso que nos compete, el registro de la temperatura y la humedad relativa del ambiente, variables meteorológicas necesarias para el cálculo del índice de comodidad de Terjung.

El plan de construcción requería que el dispositivo fuera capaz de comunicarse con una base de datos no relacional MongoDB implementada en un servidor de la Utec mediante una conexión activa a internet. El objetivo se logró tras realizar dos dispositivos diferentes. A continuación, a manera de breve resumen, nos referimos al primer prototipo y posteriormente describimos en detalle el prototipo 2 que resultó como dispositivo final.

El índice de comodidad de Terjung no ofrece una relación matemática explícita que provenga de la figura 1, por lo que para el cálculo informático del índice de comodidad de Terjung se ha utilizado una adaptación a las categorías de Terjung del índice de calor [*heat index*] (Rothfus, 1990), que relaciona matemáticamente la temperatura y la humedad relativa, con esto se ha realizado una adaptación entre los resultados de la aplicación de la ecuación de la sensación térmica a las categorías del índice de comodidad de Terjung de la siguiente manera:

$$HI = -42,379 + 2,049015237T + 10.14333127 - 0,22475541TR - 6,83783 \times 10^{-3}T^2 - 5,481717 \times 10^{-2}R^2 + 1,22874 \times 10^{-3}T^2R^2 + 8,5282 \times 10^{-4}TR - 1,99 \times 10^{-6}T^2R^2(1)$$

Donde:

HI = Sensación térmica

T = Temperatura en grados Fahrenheit

R = Humedad relativa en porcentajes enteros

Dado lo anterior, primero es necesario transformar los grados Celsius a Fahrenheit, para lo cual utilizamos la siguiente ecuación:

$$F = 1.8C + 32 (2)$$

Donde:

F = Grados Fahrenheit

C = Grados Celsius

Una vez obtenido el valor correspondiente a la sensación térmica, se procedió a correlacionar empíricamente los valores de sensación térmica con las categorías propuestas por Terjung de la siguiente forma:

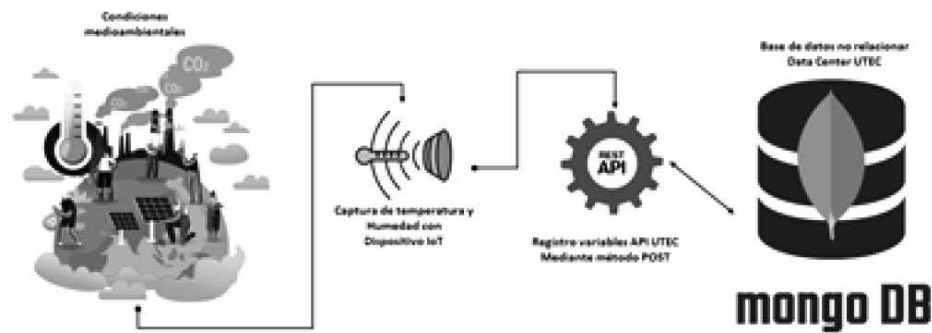
- Frío para valores menores de HI 46.4 F
- Semifrío para valores de HI entre 46.4 F a 57.2 F
- Templado para valores de HI entre 57.2 F a 68 F
- Agradable para valores de HI entre 68 F a 78.8 F
- Cálido para valores de HI entre 78.8 F a 89.6 F
- Muy cálido para valores de HI entre 89.6F a 100.4F
- Muy cálido opresivo para valores de HI entre 100.4F a 111.2F

- Extraordinariamente cálido para valores mayores de 111.2F

Con las relaciones anteriores, ahora es posible el cálculo informático del índice de comodidad de Terjung usando como ecuación base la ecuación de sensación térmica (1) y los datos registrados de temperatura ambiente y humedad relativa registrados por un dispositivo IoT.

Figura 2

Diagrama de proceso para la implementación de un dispositivo IoT construido con NodeMCU para el cálculo del índice de comodidad de Terjung a partir de los datos de temperatura y humedad relativa en el ambiente



Fuente: Elaboración propia.

Prototipo 1

La primera versión consistió en la adquisición de una placa Arduino Uno, sensores de temperatura DTH 11

(Gay, 2018), baterías y un portabaterías, cables para realizar las conexiones necesarias y una antena wifi ESP8266 para enviar los datos mediante internet.

Figura 3

Fotografías del prototipo 1 finalizado y enviando datos hacia la web de un tercero ThingSpeak



Fuente: Elaboración propia:

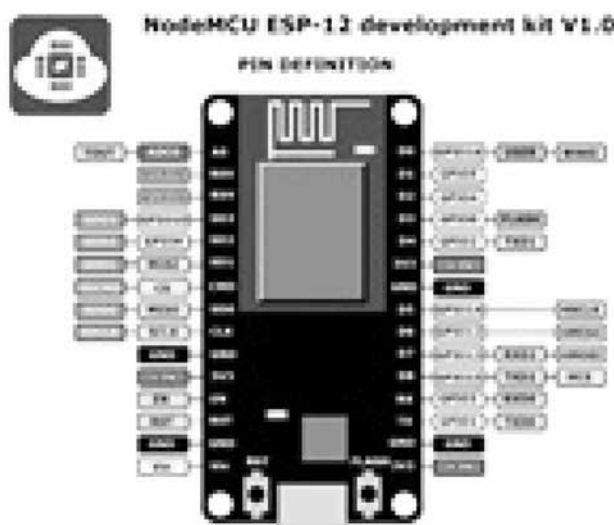
Este dispositivo funcionó correctamente solo de forma local, ya que la tecnología utilizada no permite enviar datos con la tarjeta de wifi ESP8266 mediante el método POST, el cual era necesario para los nuestros planes. Después de efectuar algunas pruebas se logró registrar la temperatura y humedad relativa. Posteriormente esos datos se enviaron a un sitio web de un tercero llamado *ThingSpeak*, mediante el método GET, pero no fue posible adaptar el dispositivo para usar el método POST. Esto demostró una limitante de diseño, la cual fue superada con el prototipo 2.

Prototipo 2, versión final

Con la limitante encontrada con el prototipo 1, se optó por probar la placa de desarrollo NodeMCU ESP8266 (Singh Parihar, 2019), que ya incluye una antena wifi incorporada (véase la figura 4), en la que se pueden desarrollar productos IoT.

Figura 4

Esquema del NodeMCU ESP-12, usado en el prototipo 2



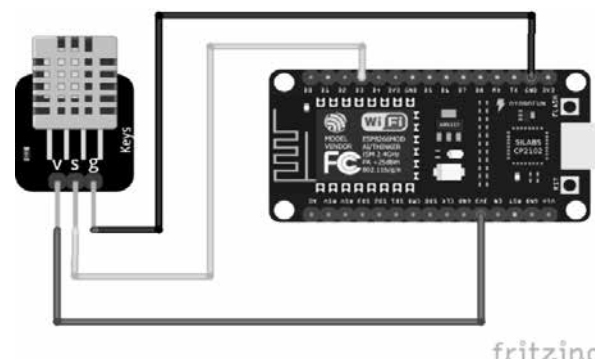
Fuente: Singh Parihar, 2019.

Por lo tanto, una vez superada la limitante del envío de datos por el método POST, se procedió a utilizar el microcontrolador NodeMCU para conectar los sensores de temperatura y humedad relativa de acuerdo con el siguiente diseño:

El sensor azul corresponde al DTH11 (temperatura y humedad relativa). La placa a la derecha corresponde al ESP8266. El DTH11 se conecta a través del pin D3 al ESP8266, asimismo a la salida de 3.3 V y a tierra de la placa.

Figura 5

Diseño electrónico de conexión del NodeMCU al sensor de temperatura y humedad relativa DTH 11



Fuente: Elaboración propia

Experimento

La programación del dispositivo se realizó usando el lenguaje de Arduino y C++. El dispositivo se conecta a una red wifi local declarando el usuario y contraseña, posteriormente se declaran las variables "t" y "h" para registrar mediante el sensor DTH11 la temperatura y humedad relativa, respectivamente; se concatena el uso del método POST para enviar una cadena de texto en formato JSON hacia una API que reside en un servidor de la Utec, previamente preparado para recibir los datos en ese formato y se guardan los datos de estación, hora, fecha, temperatura y humedad relativa cada 10 minutos.

Análisis de resultados

El dispositivo electrónico registra y envía los datos de humedad relativa y temperatura cada 10 minutos a través de una conexión wifi utilizando el método POST hacia una API preparada para recibirlos. Los datos se envían en formato JSON, incluyendo la estación, hora, fecha, temperatura y humedad relativa.

Desde el 2 de enero del 2023, se están enviando datos correspondientes a temperatura y humedad relativa desde una estación de prueba cada 10 minutos, los cuales son recibidos por la API y se guardan en una

base de datos no relacional MongoDB en el centro de datos de la Utec, estos se procesan para calcular el índice de comodidad térmico de Terjung adaptado a México y Centroamérica.

Figura 6

Serie temporal del comportamiento de la temperatura ambiente registrada por la estación de prueba y enviada a la API de MongoDB en la Utec



Fuente: Base de datos MongoDB instalada en la Utec.

A continuación, en las figuras 6, 7 y 8, se muestra una serie temporal de los datos recopilados en la base

de datos MongoDB de la Utec: de temperatura, de humedad relativa e índice de comodidad de Terjung.

Figura 7

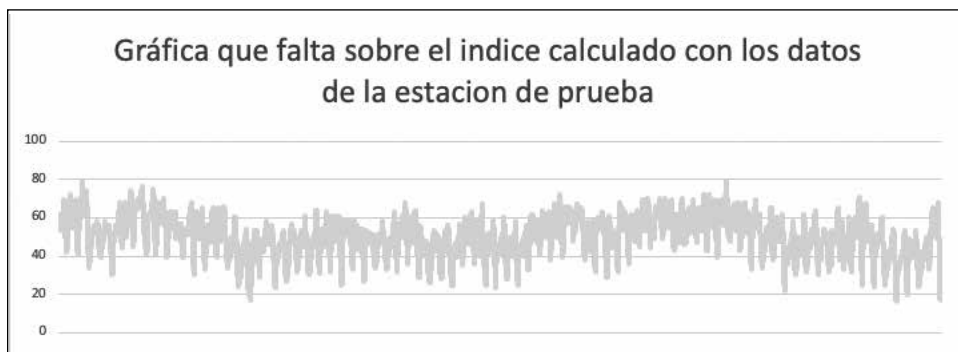
Serie temporal de la humedad relativa registrada en la estación de prueba y recibida en la API MongoDB de la Utec



Fuente: Base de datos MongoDB instalada en la Utec.

Figura 8

Índice de Terjung calculado con base a los datos del dispositivo



Fuente: Base de datos MongoDB instalada en la Utec.

Conclusiones y trabajos futuros

La adaptación realizada a la ecuación para la sensación térmica y adaptada a las categorías de comodidad de Terjung permiten el cálculo computacional del índice basado en la temperatura y humedad relativa del ambiente provenientes del dispositivo IoT desarrollado en esta investigación.

El trabajo realizado en la construcción del dispositivo y su puesta en funcionamiento demostró que es posible contar, a pesar de algunas limitaciones, con un dispositivo de bajo costo de recolección de información para su posterior procesamiento, que hace viable y práctico el registro de datos meteorológicos y su transmisión por medio de internet para su uso posterior. Considerando lo anterior, aún es posible incorporar mejoras, como la adaptación del dispositivo a la energía generada por paneles solares, que instalado el dispositivo a baterías permita su uso continuo incluso durante situaciones de poca o nula radiación solar.

Aunque no se tomó en cuenta en la realización del dispositivo actual, es posible adaptar una pantalla de cristal líquido para visualizar el último registro de temperatura y humedad relativa, así como también es posible realizar el cálculo del índice de comodidad de Terjung a la hora de realizar la medición, por lo

que también es posible incorporar estas mejoras en versiones posteriores.

Referencias

- Acero, J. (2007). *Diseño bioclimático de edificaciones*. Ediciones Uniandes.
- Eley, C. (s. f.). *Passive solar design strategies: Guidelines for home builders*. US Department of Energy.
- Flores Cortez, O. O., Cortez Reyes, R. A. y Rosa Urrutia, V. I. (2019). *Sistema telemático de monitoreo de calidad del aire en zonas remotas, utilizando técnicas IoT y big data: Fase I. estación IoT automatizada para el monitoreo de calidad del aire por contaminantes PM2.5 y Pm10*. Universidad Tecnológica de El Salvador.
- Gay, W. (2018). *Advanced Raspberry Pi*. Apress.
- Givoni, B. (1998). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 18(1), 11-23.
- Loza-Ramírez, L., González Salazar, A. y Alatorre Ramos, S. (2013). La confortabilidad climática en el Bosque Los Colomos y su influencia en el ambiente urbano de Guadalajara, Jalisco. En A. I. Ramírez Quintana, M. Anaya Corona, F. D.

- Rentería Rodríguez, J. G. Ruvalcaba Salazar, M. Á. Gonzales Villa (Comp.), *Propuestas para la gestión de los parques en México 2012* (pp. 97-109). Orgánica. https://www.orgnicaeditores.mx/biblioteca/parques2012/contenido/3_Ambiental/3_07_Loza_Ramirez.pdf
- Mirón Pérez, I. J. (2017). Cambio climático y riesgos alimentarios. *Revista de Salud Ambiental*, 17(1), 47-56.
- Mutyalamma, A. V., Yoshitha, G., Dakshyani, A. y Venkata Padmavathi, B. (2020). Smart agriculture to measure humidity, temperature, moisture, ph. and nutrient values of the soil using IoT. *International Journal of Engineering and Advanced Tecnology*, 9(5).
- National Weather Service (2018). *Heat forecast tools*. <https://www.weather.gov/safety/heat-index>
- Organización Meteorológica Mundial (2017). *Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos*. OMM.
- Patel, J., Patel, E. y Priya, P. (2019). Sensor and cloud based smart irrigation system with Arduino: A technical review. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 3(11), 25-29.
- Rothfusz, L. P. (1990). *The heat index equation (or, more than you ever wanted to know about heat index)*.-Scientific Services Division, NWS Southern Region Headquarters.
- Singh Parihar, Y. (2019). Internet of things and Nodemcu: A review of use of Nodemcu ESP8266 in IoT products. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6(6), 1085-1088.