

Parametrización de Intercambiador de calor autosustentable mediante tecnología IoT Portátil

Ing. Héctor Alonso Salazar Simental, Dr. Aurelio Castillo Liñán, Dra. Yolocuauhtli Salazar Muñoz, M. Norma Alicia García Vidaña, Dr. Rubén Guerrero Rivera.

a Instituto Tecnológico de Durango, 02040600@itdurango.edu.mx,

Durango, Durango; México.

b Instituto Tecnológico de Durango, acastillo@itdurango.edu.mx, Durango, Durango; México.

c Instituto Tecnológico de Durango, ysalazar@itdurango.edu.mx, Durango, Durango, México.

d Instituto Tecnológico de Durango, norma.garcia@itdurango.edu.mx, Durango, Durango, México.

e Instituto Tecnológico de Durango, rubenguerrero@itdurango.edu.mx, Durango, Durango, México.

Resumen

El daño por heladas causa estrés en las plantas afectando la cantidad y calidad del producto. El objetivo principal de este proyecto es parametrizar el sistema del intercambiador de calor eólico autosustentable en cultivos protegidos con un sistema integral portátil de monitoreo de las variables de Temperatura y Humedad utilizando tecnología IoT de código abierto, que pueda utilizarse de manera óptima dentro de recintos de cultivo. El sistema de monitoreo para el Intercambiador se diseña para medir: Temperatura, definidos a tres puntos y la Humedad Relativa (HR), definidos a 4 puntos de lectura [4]. La unidad de control realiza la lectura de datos de manera secuencial, y los transmitirá mediante el transmisor WiFi 2.4 GHz. Se obtuvo como resultado que la temperatura varía desde -4 grados centígrados hasta +40 grados centígrados, en un lapso de 12 Hrs a razón de 3.5 °C, con lo cual se concluyó que un recinto de cultivo controlado mediante el “método de intercambio de calor eólico autosustentable” puede ser monitoreado, mediante las variables de Temperatura y Humedad, utilizando tecnología IoT de código abierto, permitiendo mejorar el control de calidad, la inocuidad y propiedades del producto final de cultivo en la casa sombra.

Palabras clave— Autosustentable, Desarrollar, Intercambiador, IoT, Sistema.

Abstract

Frost damage causes stress in plants, affecting the quantity and quality of the product. The main objective of this project is to parameterize the system of the self-sustaining wind heat exchanger in protected crops with a portable, integrated monitoring system for temperature and humidity variables using open-source IoT technology that can be optimally used within crop enclosures. The monitoring system for the Heat Exchanger is designed to measure temperature, defined at three points, and Relative Humidity (RH), defined at 4 reading points. The control unit sequentially reads the data and transmits it via the 2.4 GHz WiFi transmitter. The result obtained was that the temperature varies from -4 degrees Celsius to +40 degrees Celsius over a period of 12 hours at a rate of 3.5°C, thus concluding that a crop enclosure

controlled by the "self-sustaining wind heat exchange method" can be monitored using temperature and humidity variables using open-source IoT technology, allowing for improved quality control, safety, and properties of the final crop product in the shade house.

Keywords - Self-sustaining, Develop, Exchanger, IoT, System.

1. INTRODUCCIÓN

Con base en los datos del INEGI de desastres ecológicos, el daño por heladas es un agente de cambio geomórfico que forma hielo en el tejido interno de las plantas, dañando sus células, así como también las altas temperaturas y sequías causan estrés en las plantas afectando la cantidad y calidad del producto [1]. Este cambio depende de la temperatura del aire, la humedad relativa y la profundidad de enfriamiento en las tierras de cultivo, entre otras condiciones ambientales y los cambios en las configuraciones y arreglos del invernadero pueden influir en el microclima interior, para proteger el cultivo contra la adversidad climática [2]. Recientemente, los diseños de ecosistemas han seguido una transformación inteligente para aumentar y mejorar la producción, a través de la tecnificación para crear equipos e instalaciones industriales inteligentes y optimizados para satisfacer la demanda de alimentos en todo el mundo [3].

En consecuencia, la humedad y el frío seco afectan directamente al tejido vegetal, destruyendo las células internas y dependiendo de la resistencia térmica de los cultivos, pueden causar daños irreparables al cultivo o destrucción total de las plantas, mientras que otros cultivos (maíz, frijol, maguey, entre otros) muestran daños significativos con importantes pérdidas económicas (50-80% de la producción total) [4]. Algunos tipos particulares de fenómenos meteorológicos desastrosos en el centro de México son las heladas negras, las cuales tienen efectos muy negativos para la agricultura y el uso de calentadores provoca que no aparezcan tallos y hojas de cultivos congelados [5]. Actualmente, se investiga un nuevo invernadero solar con almacenamiento térmico, el sistema que utiliza el calentamiento solar de agua para elevar la temperatura del aire en los invernaderos durante las frías noches de invierno [6]. Sin embargo, la principal desventaja de este rendimiento térmico de un invernadero solar se encuentra en las regiones más frías, donde los eventos de heladas pueden ocurrir regularmente. La nueva era implicará el uso de tecnologías, aplicaciones y soluciones agrícolas inteligentes para garantizar mejores cosechas y mejorar la producción de alimentos. La tendencia de la agroindustria es el uso de la producción de invernadero sostenible con huella de carbono minimizada. Por lo tanto, la pregunta de investigación es: ¿la parametrización del microclima ambiental en los recintos de cultivo protegido puede controlar el uso del sistema de intercambio de calor eólico autosustentable para minimizar los efectos de la presencia de una helada ambiental. De esta forma se podría mitigar el efecto de los cambios drásticos de temperatura y humedad en los cultivos agrícolas provocados por el ambiente extremo exterior al invernadero. El objetivo principal de esta tesis es parametrizar el sistema del

intercambiador de calor eólico autosustentable en cultivos protegidos con un sistema integral portátil de monitoreo de las variables de Temperatura y Humedad utilizando tecnología IoT de código abierto, que pueda utilizarse de manera óptima dentro de recintos de cultivo. El cual pueda ser utilizado por el productor para el cultivo de frutas, hortalizas y legumbres dentro de su recinto de casa sombra para mejorar la producción.

2. METODOLOGIA

El sistema de monitoreo para el Intercambiador se diseña bajo la característica de limitar el error de medida al $\pm 5\%$. Las variables definidas en este sistema de medición al interior del recinto son:

- 1) Temperatura, definidos a tres puntos de lectura que son a) nivel del suelo, b) a 35cm del suelo y c) a 70 cm del suelo. Por lo que el rango de medida es de 5°C a 35°C .
- 2) Humedad Relativa (HR), definidos a 4 puntos de lectura que son: a) 5 cm bajo el nivel del suelo, b) a nivel del suelo, c) a 35cm del suelo y d) a 70 cm del suelo. Con un rango de 10 a 60% de HR

Debido a que lo que se requiere obtener son datos reales y confiables para representar el comportamiento del clima al interior del recinto. Para poder lograr esto se aplicará procesamiento digital a las señales adquiridas. El acondicionamiento consiste en un ajuste mediante el proceso de calibración de los sensores utilizando un equipo patrón para temperatura y humedad, el equipo utilizado fue un Fluke 971, con el método de linealización.

La frecuencia de muestreo permite una adquisición de datos cada hora, durante las 24 h del día. En la Tabla 1, se muestra el consumo eléctrico de los componentes del sistema información en tiempo real se diseña una interfaz gráfica, la cual consiste en desplegar las lecturas en gráficas donde se pueden visualizar los datos obtenidos por los sensores. Adicionalmente, permite generar una base de datos con fecha y hora en la que se tomó la lectura.

Tabla 1. Consumo eléctrico de los componentes

Consumos Promedios	
ESP32 Dev kit	250 mW
DHT 22	4 mW
YL69	50 mW
BMP180	1 mW
Batería Lipo	7.4 mW
Celda Solar	500 mW

Se seleccionaron los sensores para monitoreo de las variables de Temperatura y Humedad en aire y suelo con base en sus características estáticas de funcionamiento, además de sus dimensiones, ver tabla 2.

La unidad de control a utilizar será la placa de desarrollo ESP32 Dev Kit, debido a que tiene embebido el hardware de telecomunicaciones necesario y el número de canales de comunicación suficientes para los distintos sensores.

La unidad de control realizará la lectura de datos de manera secuencial, una vez adquiridos los datos se transmitirán mediante el transmisor WiFi 2.4 GHz. Los protocolos de comunicación utilizados entre la unidad de control y los

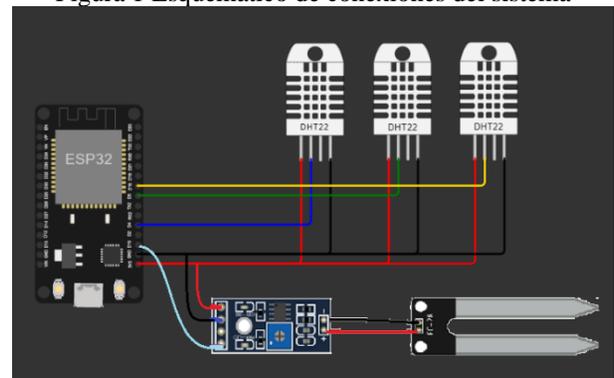
sensores son el I2C y analógico, en la tabla 2 se especifica el sensor y el protocolo que utiliza.

Tabla 2 Características Técnicas de los sensores seleccionados para el sistema.

Variable	Tipo	Rango	% de Error	Protocolo de comunicación
Temperatura	Electro químico	-40°C a 80°C	$< \pm 0.5^{\circ}\text{C}$	I2C
Humedad del suelo	Electro químico	0% - 100%	$\pm 2\%$	I2C
Humedad del aire	Resistivo	0% - 100%	$\pm 2\%$	Análogo

El módulo WiFi integrado realiza la comunicación del sistema con la plataforma ThingSpeak para su monitorización en la nube. Para ello, se implementa un programa para la gestión de datos que permite almacenar, visualizar y extraer los datos mediante la plataforma. El reporte histórico de datos se obtendrá a través de la plataforma ThingSpeak, El periodo de funcionamiento del sistema es continuo, de acuerdo con los requerimientos del productor.

Figura 1 Esquemático de conexiones del sistema



Por lo tanto, se definió en función del consumo de corriente los componentes, un sistema de alimentación basado en una celda solar de 6 V a 180 mA y una batería LIPO 2000 mAh. Por lo que, en total ausencia de sol funcionando y transmitiendo los datos a la plataforma, la celda solar en conjunto con la batería garantiza el funcionamiento del sistema por 23.3 h. de acuerdo con la ecuación 1. También, ajustando la programación el periodo de muestreo, se puede incrementar la autonomía del sistema.

$$A = \frac{P_{Bat}}{\sum [C_{Mic} + (C_{DHT} * 3) + C_{YL} + C_{BMP} + C_{Per}]}$$

Ecuación 1

Donde, P_{bat} es la Potencia entregada por batería. C_{Mic} es el consumo del microprocesador. C_{DHT} es el consumo del sensor DHT22. C_{YL} es el consumo del sensor YL69. C_{Per} es el consumo por las pérdidas que se presentan en el sistema.

Como se aprecia en la figura 1, la integración del sistema consta de sensores de comunicación analógica, sensores de comunicación I2C, la unidad de control del sistema, la conexión al servidor IoT.

Las variables Temperatura y Humedad Relativa fueron calibradas utilizando como equipo patrón un medidor de temperatura y humedad Fluke 971. El método de calibración fue linealización permitiendo obtener las ecuaciones resultantes que muestran los valores para poder realizar la calibración de manera lógica incluyendo estas constantes dentro del programa que realiza el procesamiento de los datos entregados por los sensores, el código para el ajuste del error.

3. RESULTADOS

Los datos adquiridos para la calibración se adquirieron con la frecuencia de 1 h, para tener un rango de 5 a 35°C de temperatura ambiente y del 10% al 60% de HR. Con esta calibración se obtuvo un error del 5% para temperatura y un 9% para humedad relativa, figura 2 y 3.

Figura 2 Calibración para Temperatura

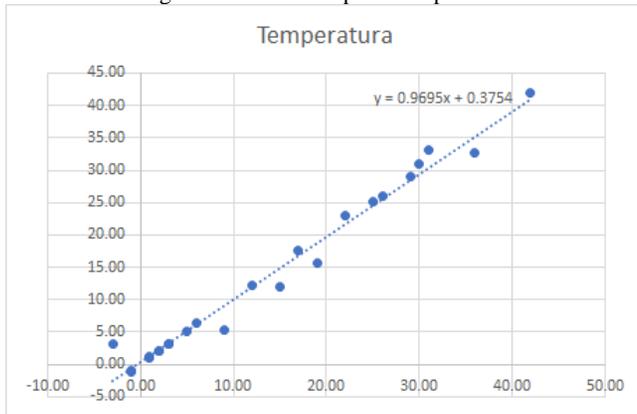
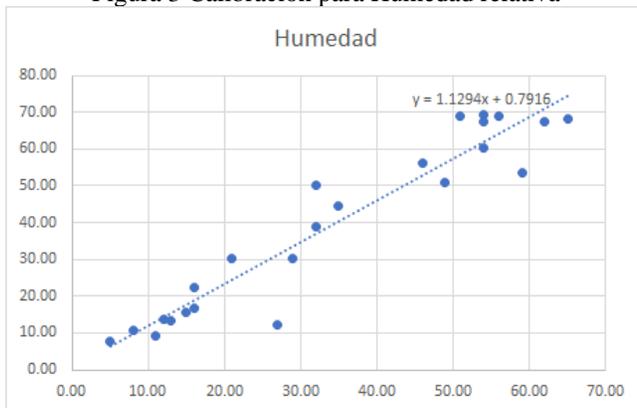


Figura 3 Calibración para Humedad relativa



Pruebas de funcionamiento del sistema y análisis de datos

Una vez integrado el prototipo, se realizaron las mediciones de prueba de las variables para confirmar con datos el funcionamiento del “método de intercambio de calor eólico autosustentable”, estas variables son: Temperatura y Humedad. Las Variables fueron registradas en periodos de 24 h, figuras 4 y 5. Bajo condiciones de actividad cotidiana, es decir dentro del entorno del recinto de cultivo protegido.

Donde MS son las lecturas adquiridas con el modulo de Censado y AC son las lecturas obtenidas con el aparato certificado.

Figura 4 Graficas de Temperatura

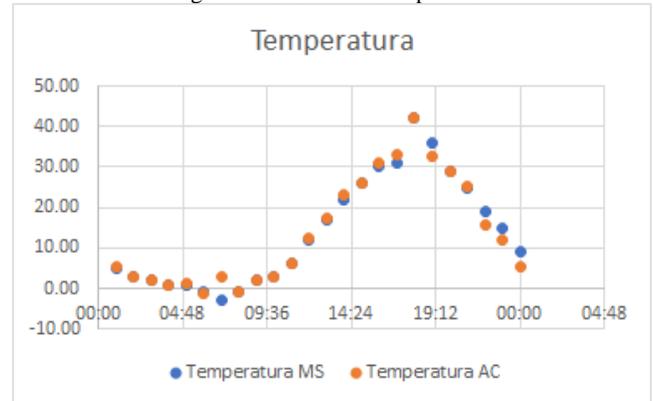
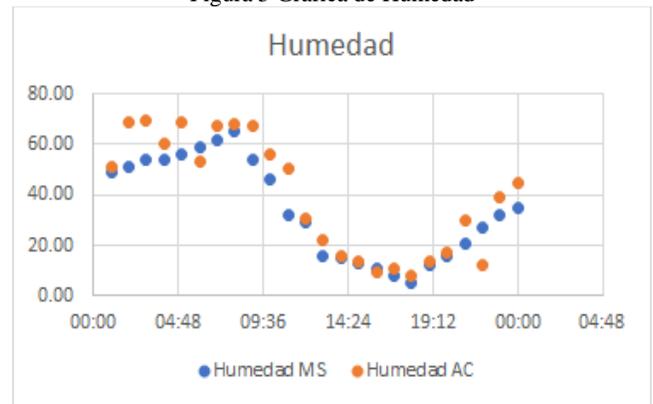


Figura 5 Grafica de Humedad



Los datos recolectados durante la parametrización permitieron detectar variaciones desde -2 hasta 40 °C entre los diferentes puntos de toma de muestra en el interior del recinto con un cambio promedio de .25 ° entre cada hora y una variación máxima de de 9 °C, entre las 13 y las 17 h.

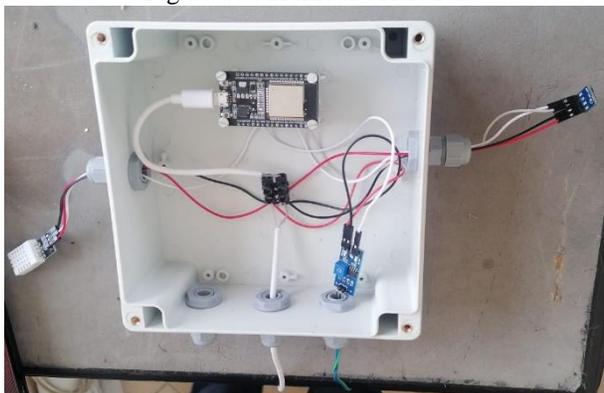
Diseño e integración del sistema de monitorización

Se logró integrar el sistema de monitorización de variables ambientales, desde la toma de lecturas, hasta la visualización mediante la interfaz.

Los componentes principales de procesamiento y alimentación están montados en un contenedor con aislamiento ambiental de grado IP67. Para el resto de las componentes solo se requieren sus terminales debido a que van colocados de forma superficial en el módulo de censado del sistema.

El proceso de implementación de la carcasa se realizó mediante el seguimiento de los puntos de diseño recomendados para elementos expuestos al medio ambiente.

Figura 6 % Humedad Relativa



Adquisición de datos con el sistema de monitorización

La transmisión de datos en tiempo real se lleva a cabo cada 60 minutos. En la figura 6 y 7, se aprecia el comportamiento durante el funcionamiento de la plataforma en conjunto con el sistema, solo se representan los datos adquiridos durante un día.

En todas las variables mostradas, se observa un comportamiento de lecturas continuas, donde los valores de la medida de temperatura promedio es de $13.75 \pm 1.4^\circ\text{C}$ (Figura 6 y 7) con una humedad relativa del $39.41 \pm 1.7\%$.

Figura 6 Temperaturas

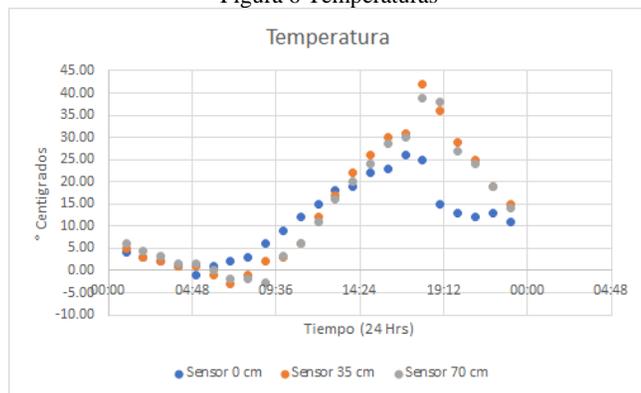
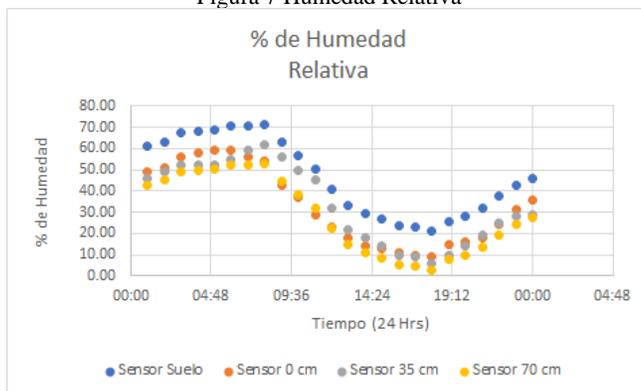


Figura 7 Humedad Relativa



4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluyo que un recinto de cultivo controlado mediante el “método de intercambio de calor eólico autosustentable” puede ser monitoreado, parametrizado y sectorizado de manera óptima mediante las variables de Temperatura y Humedad, utilizando tecnología IoT de código abierto, portátil, el cual genera datos en tiempo real, crea una base de datos central con la base de datos adquirida. Esto le puede permitir a los productores mejorar el control de calidad, la inocuidad y propiedades del producto final de cultivo en la casa sombra.

5. REFERENCIAS

- [1] Víctor Magaña, Baldemar Méndez, Carolina Neri y Gustavo Vázquez, REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, INEGI, ISSN 2007-2961, Vol. 9, Núm. 1, pp 35-48, enero-abril 2018.
https://rde.inegi.org.mx/rde_24/rde_24.pdf
- [2] Varela, Santiago Agustín, ASPECTOS BÁSICOS DE LA FISIOLÓGIA EN RESPUESTA A ESTRÉS Y EL CLIMA COMO CONDICIONANTE DEL MISMO EN LAS PLANTAS, INTA EEA Bariloche, ISSN 1667-4006, 2010.
<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Aspectosb%C3%A1sicosfisiolog%C3%ADarespuestaestr%C3%A9s.pdf>
- [3] PAMELA VIRIDIANA VALENZUELA FRANCO, JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ RIVERA, MERIT CISNEROS GONZÁLEZ, JONÁS LAGUNAS OROZCO, FRANCISCO JAVIER GÓDÍNEZ GARCÍA
<https://www.uv.mx/iiesca/files/2019/10/volumen-1ligas.pdf#page=57>
- [4] Clara I. Nicholls, Alejandro Henao, Miguel A. Altieri, AGROECOLOGÍA Y EL DISEÑO DE SISTEMAS AGRÍCOLAS RESILIENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO, International and Area Studies, University of California, Berkeley.
<https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300711/216131>
- [5] Iriarte, S. Bistoni y V.Luque, Sistema Sol-Gas para la calefaccion de Invernaderos Destinados al control fisiológico y Sanitarion de Plantas, INECO- unas- Salra
<http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/averma/article/view/2483/2390>
- [6] Torres-Gallo, P.J. Miranda-Lugo y K.A. Martínez-Padilla, “Diseño y construcción de un sistema híbrido de calentamiento de aire por combustión de biomasa y radiación solar, utilizando PCM como fuente de almacenamiento térmico, para secado de yuca.”, TecnoLógicas, vol. 20, no. 39, 2017.
<http://www.scielo.org.co/pdf/tecl/v20n39/v20n39a05.pdf>