

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO IOT

*para la generación de información meteorológica que contribuya al análisis del fenómeno de isla de calor urbano*

*Iot prototype design and construction for meteorological data generation that contributes to the analysis of urban heat island phenomenon*

Cesar Eduardo Sánchez Sánchez<sup>1</sup>, Eric Mario Silva Cruz<sup>2</sup>.

## Resumen

El fenómeno de la isla de calor tiene un impacto negativo sobre el organismo humano, especialmente en verano, pudiendo llegar a exacerbar algunas enfermedades respiratorias. Además, acelera las reacciones químicas involucradas en la producción de ozono troposférico y de algunos otros contaminantes secundarios.

La presencia de contaminantes en la atmósfera urbana, sobre todo el material suspendido en forma de partículas, produce la absorción de la radiación infrarroja que emite el suelo al enfriarse, provocando la acumulación de calor a niveles de superficie y contribuyendo a la generación de islas de calor.

En la ciudad de Oaxaca existen dos estaciones de monitoreo atmosférico; de acuerdo con INECC (2019), si bien éstas generan información meteorológica, su calidad es insuficiente para desarrollar análisis estadísticos, además de carecer de representatividad de las diversas áreas de la ciudad. Por lo anterior y debido a que en la ciudad de Oaxaca no se realizan estudios del comportamiento térmico y esto afecta el malestar ocasionado en la población por la pérdida de confort térmico en actividades cotidianas como dormir, trabajar, consumir agua o practicar algún deporte, se plantea como propuesta el diseño y construcción de un prototipo destinado a la recopilación de información de parámetros meteorológicos a través del internet de las cosas, para permitir su medición y análisis e identificar su relación con el fenómeno de isla de calor urbano.

## Palabras clave

Isla de calor urbano, Internet de las cosas, ThingSpeak, Protocolo MQTT.

## Abstract

The phenomenon of the heat island has a negative impact on the human organism, especially in summer, since it can exacerbate some respiratory diseases. In addition, it accelerates the chemical reactions involved in the production of tropospheric ozone and some other secondary pollutants. The presence of pollutants in the urban atmosphere, especially the particulate matter in suspension, produces the absorption of the infrared radiation that the soil emits when it cools, thus generating; the accumulation of heat at surface levels and thereby contributing to the generation of heat islands. Within the City of Oaxaca, two atmospheric monitoring stations are located, which according to (INECC, 2019), although they generate meteorological information, this does not have sufficient quality for the development of statistical analyzes, in addition to lacking representativeness of the various areas of the city.

Due to the above and because, in the city of Oaxaca, studies of thermal behavior are not carried out and this affects the discomfort due to the loss of thermal comfort of the population in daily activities such as sleeping, working, consuming more water or practicing some sport. The proposal is the design and construction of a prototype for the collection of information on meteorological parameters through the Internet of Things, which allow the measurement and analysis of said parameters and their relationship with the urban heat island phenomenon.

## Keywords

Urban Heat Island, Internet of Things, ThingSpeak, MQTT Protocol.

DOI: <https://doi.org/10.56643/rcia.v1i1.153>

Como citar este artículo: Silva, E., Sánchez, E. (2022). Diseño y construcción de un prototipo iot para la generación de información meteorológica que contribuya al análisis del fenómeno de isla de calor urbano. Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura, 1(1), 30-41. DOI: <https://doi.org/10.56643/rcia.v1i1.153>

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.  
La investigación fue financiada con recursos de los autores.

Eric Mario Silva Cruz  
<https://orcid.org/0000-0002-0496-9682>  
César Eduardo Sánchez Sánchez  
<https://orcid.org/0000-0001-8013-652X>

Recibido: 28/07/2021 | Aceptado: 06/12/2021 | Publicado: 1/06/2022

# 1. INTRODUCCIÓN

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La expansión urbana experimentada por las ciudades se asocia a numerosos problemas ambientales; uno de ellos es la Isla de Calor Urbana (ICU). Ésta se define como la diferencia de temperatura entre el área urbana y sus alrededores (Pérez, 2014).

La ICU es el resultado de dos procesos diferentes, pero asociados. El primero y más importante es la modificación de la cobertura del suelo como consecuencia de la urbanización, que transforma las superficies empleando materiales impermeables, como el asfalto y el concreto. El segundo hace referencia a actividades que tienen lugar en la ciudad, principalmente el transporte y la industria, las cuales generan emisiones térmicas que contribuyen al calentamiento urbano (Solís et al., 2012).

Este tema tiene gran importancia en la actualidad, debido a la tendencia mundial a la urbanización y el crecimiento disperso de las ciudades; la isla de calor urbano tiene consecuencias directas sobre la calidad del aire, la salud pública, la gestión energética y la planeación urbana. Por ello, este fenómeno se ha convertido en uno de los principales desafíos relacionados con el proceso de urbanización, ya que el aumento de la temperatura vinculado a la isla de calor urbano tiende a generar los problemas mencionados.

A pesar del extenso conocimiento existente sobre la isla de calor urbano, en varias regiones del país ésta no ha sido estudiada; Oaxaca es uno de los estados que carece de estudios en este sentido.

Diversos trabajos (Pérez, 2014) dan cuenta de la relación directa entre las altas temperaturas urbanas y la falta de vegetación y el exceso de pavimentos y asfaltos; debido al incremento en la pavimentación de calles y carreteras, este fenómeno se está presentando en la ciudad de Oaxaca, reflejándose, sobre todo, en el aumento de la temperatura en la capital del estado. Los estudios demuestran que las actividades

comerciales y domésticas son fuentes importantes de generación de calor hacia el entorno; ello hace que deban ser cuantificadas en Oaxaca de Juárez, para posibilitar la atención de dicho fenómeno.

Como se mencionó, en Oaxaca de Juárez no se ha registrado información que permita identificar islas de calor urbano; sólo existen dos estaciones de monitoreo atmosférico y, de acuerdo con el INECC, si bien éstas generan información meteorológica, la calidad de la misma es insuficiente para desarrollar análisis estadísticos, además de carecer de representatividad de las diversas áreas de la ciudad. Esto impide contar con un monitoreo correcto del fenómeno de isla de calor urbano.

Algunos autores explican las islas de calor como un efecto invernadero local, pues los gases presentes en el ambiente se encierran en un solo lugar dando lugar a una cápsula que absorbe calor del Sol. Por lo anterior, y debido a que en la ciudad de Oaxaca no se realizan estudios del comportamiento térmico, esto influye en la población, generando malestar por la pérdida de confort térmico, y puede llegar a afectar actividades cotidianas, como dormir, trabajar, consumir agua o practicar algún deporte.

Para responder a este problema se plantea como propuesta el diseño y construcción de un prototipo destinado a la recopilación de información sobre parámetros meteorológicos a través del internet de las cosas (IoT), que permitan su medición y análisis y, posteriormente, la caracterización térmica de ciertas áreas de la ciudad de Oaxaca, así como contribuir con información a las bases de datos y el mapeo de las islas de calor urbano.

El desarrollo de la presente investigación permitirá sentar las bases no sólo para la obtención de información y su análisis, sino también para utilizarla con la finalidad de proponer acciones de mitigación de los efectos producidos por el fenómeno mencionado.

## JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES

El fenómeno de la isla de calor tiene un impacto negativo sobre el organismo humano, especialmente en verano, ya que puede llegar a exacerbar algunas enfermedades respiratorias. Además, acelera las reacciones químicas involucradas en la producción de ozono troposférico y de algunos otros contaminantes secundarios. La presencia de contaminantes en la atmósfera urbana, sobre todo el material de partículas en suspensión, produce la absorción de la radiación infrarroja que emite el suelo al enfriarse, provocando la acumulación de calor a niveles de superficie y contribuyendo a la generación de islas de calor.

Es bien conocido que el efecto de isla de calor urbano aumenta con el crecimiento de la ciudad y es directamente proporcional al tamaño de la mancha urbana. Sin embargo, en la ciudad de Oaxaca, e incluso a nivel estatal, se desconocen las dimensiones de este fenómeno, así como sus efectos en las concentraciones de contaminantes atmosféricos.

En el estado de Oaxaca, una elevada proporción de la población se concentra en localidades urbanas, ya que el 55.7% de los habitantes vive en alguna ciudad y se evidencia una tendencia a que la mayor parte de la población viva en espacios urbanos. Demográficamente, el conjunto de ciudades es muy desigual; fuera de los 14 centros urbanos considerados ciudades (localidades mayores a los 15,000 habitantes), predominan las pequeñas localidades (INEGI, 2010).

Con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> por vivienda asociadas al crecimiento de la mancha urbana, la ciudad de Oaxaca encabeza los niveles más altos de emisión, con un promedio de 180,576 toneladas al año. El mayor crecimiento en la emisión de CO<sub>2</sub> por las viviendas ocurre en cuatro ciudades —Ocotlán, Pinotepa Nacional, Miahuatlán y Huatulco—, en las que se regis-

tran tasas superiores a la media estatal (1.39%). En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> por vehículos de motor, la ciudad de Oaxaca presenta los niveles más altos de emisión, con 146,434 toneladas al año.

Al analizar el estado de Oaxaca por municipio, se constata que Crucecita encabeza las emisiones por habitante, registrando anualmente un nivel muy alto, 309 toneladas; le sigue el municipio de Oaxaca, con un nivel también alto de 246 toneladas. Los 12 municipios restantes registran baja emisión, expidiendo menos de 51 toneladas.

El municipio de Huatulco evidencia una tasa de crecimiento muy alta de este tipo de emisiones, 83%, mientras que tres municipios —Tuxtepec, Puerto Escondido y Pinotepa Nacional— registran tasas bajas, de entre 20% y 30%.

Por esta razón se justifica el objetivo principal de la presente investigación: diseñar y construir un dispositivo que permita el registro y almacenamiento de información sobre parámetros meteorológicos en diversos puntos de la ciudad de Oaxaca de manera remota, para la determinación futura de islas de calor y su contribución a las concentraciones de contaminantes atmosféricos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los elementos a considerar tienen la característica principal de ser de hardware y software libre. En lo que respecta al software se utilizan los programas de Visual Studio Code, Android studio, la plataforma de ThingSpeak y HiveMQ, este último con la finalidad de implementar el protocolo MQTT.

En cuanto al hardware se emplea la tarjeta ESP32 DEVKIT V1, que cuenta con un microprocesador Xtensa Dual-Core 32 bits, conectividad Wifi, Bluetooth 4.2 y Bluetooth low-energy, así como diferentes sensores y módulos de acondicionamiento de señales que se describirán a continuación.

**Sensor BME280:** “Es un sensor ambiental del fabricante Bosch Sensortech que combina termómetro, barómetro e higrómetro en un único dispositivo” (Llamas, 2020); éste permite registrar temperatura, humedad y presión atmosférica; “el rango que maneja éste de temperatura es de 40 a + 85 °C con una resolución del 0.01 °C, para la presión de 300-1100 hPa y para la humedad relativa de 0 a 100%” (Llamas, 2020). Para la obtención de los datos se utiliza el protocolo I2C.

**Sensor HTU21D:** es un sensor digital de humedad y temperatura de bajo costo y alta precisión; es ideal para la detección ambiental, el registro de datos y su uso en estaciones meteorológicas. Para la obtención de las lecturas de humedad y temperatura relativas utiliza el protocolo de comunicación I2C, un protocolo de comunicación serial, y se comunica mediante dos pines (SDA, SCL). Su principal ventaja es que su arquitectura permite confirmar si los datos fueron recibidos dentro de la misma trama a través del microcontrolador que se esté utilizando.

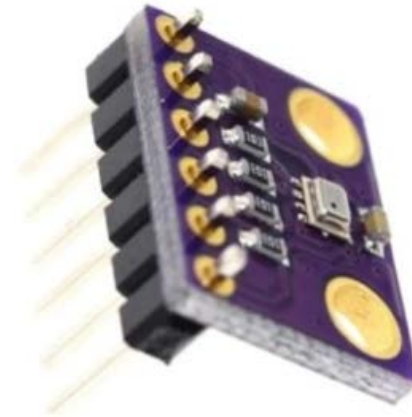


Figura 1. Sensor BME-280.

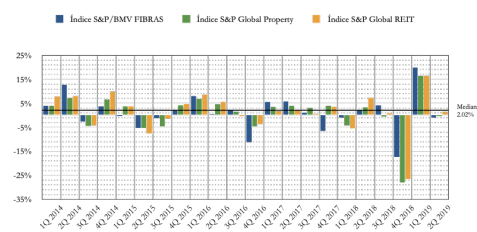


Figura 2. Sensor HTU21D.

Anemómetro: es un sensor de velocidad de viento compuesto por una carcasa de tres copas para viento y un módulo de circuito; está fabricado con aleación de aluminio. Posee alta resistencia a la intemperie, la corrosión y al agua, por lo que es adecuado para realizar mediciones en el exterior.

La interfaz de comunicación con un microcontrolador se lleva a cabo mediante una señal de corriente de salida (4 a 20 mA), por cual debe acondicionarse la señal para convertirla a una señal de voltaje analógica, que debe ir de 0-3.3 Volts, ya que dicha lectura es aceptada por la tarjeta ESP32.



Figura 3. Anemómetro.

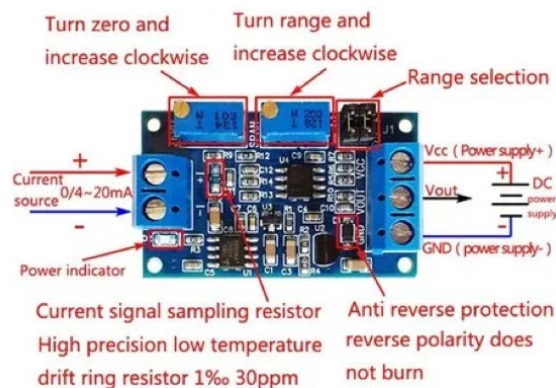


Figura 4. Convertidor de señal de corriente a voltaje.

El módulo mostrado en la figura 4 es un convertidor de señal de corriente a voltaje; el mismo convierte una señal de corriente de 4-20mA a 0-(10, 5 y 3.3 v); por ello se usará el rango de 0 a 3.3 volts. Para la elección de ese rango se utilizan los puentes jumpers que se encuentran en la placa; éstos deben ser retirados para obtener la señal de salida de voltaje. Posteriormente se realiza la programación del acondicionador de señal conectado a la tarjeta ESP32 y el anemómetro a dicho acondicionador de señal. Protocolo MQTT: la comunicación entre la aplicación móvil y el microcontrolador ESP32 se logra empleando el protocolo MQTT, “el cual consiste en un servicio de mensajería push con patrón publicador/suscriptor (pub-sub), se conecta con un servidor central denominado bróker” (Llamas, 2019).

Este protocolo se compone por publicadores y suscriptores; ambos están vinculados con el

bróker. El publicador debe enviar mensajes a través de un tópico y el suscriptor puede ver dicho mensaje suscribiéndose a ese tópico.

Plataforma ThingSpeak: es un servicio de plataforma de análisis de IoT que permite agregar, visualizar y analizar transmisiones de datos en vivo en la nube; puede enviar datos a ThingSpeak desde dispositivos, crear visualización instantánea de datos en vivo y enviar alertas.

Visual Studio Code: es una interfaz gráfica amigable, que permite descargar complementos en distintos lenguajes de programación y gestionar librerías para la realización de proyectos. En este caso se utilizó la plataforma PlatformIO, la cual está basada en el lenguaje de programación en C.

Android Studio: es el entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial para el desarrollo de apps de Android y está basado en IntelliJ IDEA.

### 3. RESULTADOS

Una estación meteorológica es una instalación, en este caso dispositivo, destinado a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas, entre las cuales destacan:

Tabla 1.Descripción de instrumentos para medir variables meteorológicas.

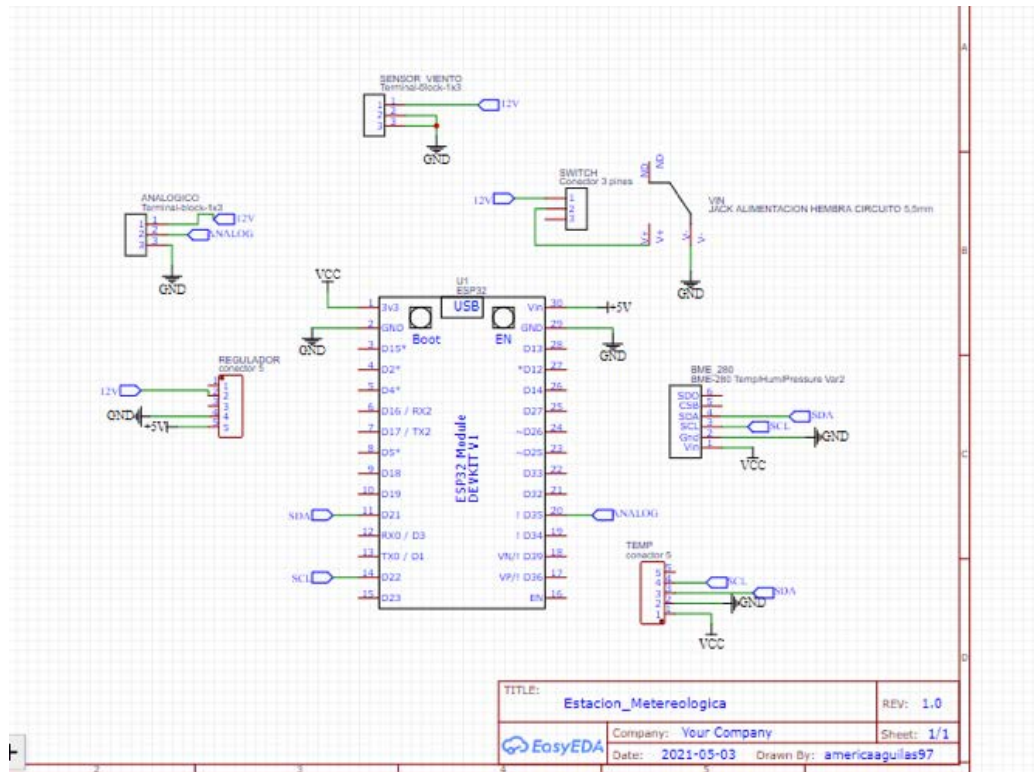
<b>Instrumentos para medir variables meteorológicas</b>	<b>Definición</b>
<b>Termómetro</b>	Instrumento que mide la temperatura a diversas horas del día.
<b>Termógrafo</b>	Registra automáticamente las fluctuaciones de la temperatura.
<b>Barómetro</b>	Mide la presión atmosférica en la superficie.
<b>Pluviómetro</b>	Mide la cantidad de agua caída en forma de lluvia, nieve o granizo por metro cuadrado de suelo.
<b>Psicrómetro o higrómetro</b>	Mide la humedad relativa del aire y la temperatura del punto de rocío.
<b>Piranómetro</b>	Mide la radiación solar global (directa + difusa).
<b>Heliógrafo</b>	Mide las horas de luz solar.
<b>Anemómetro</b>	Mide la velocidad del viento.
<b>Veleta</b>	Instrumento que indica la dirección del viento

Los parámetros meteorológicos que es necesario medir para detectar el fenómeno de isla de calor urbano son temperatura, humedad, presión atmosférica, altitud y velocidad del viento.

Para obtener las lecturas de los datos de los respectivos sensores se utilizó la tarjeta de adquisición de datos ESP32, además de la plataforma libre Visual Studio Code, la cual cuenta con un microprocesador Xtensa Dual-Core 32

bits, conectividad Wifi, Bluetooth 4.2 y Bluetooth low – energy. La tarjeta se programa en el software libre Visual Studio Code; dentro del mismo software se descargó una extensión llamada PlatformIO, basada en programación en C. A continuación, se muestra el diagrama de conexión (figura 5) de la tarjeta ESP32 con los respectivos sensores.





La comunicación entre la aplicación móvil y el microcontrolador ESP32 se logra a través del protocolo MQTT, “el cual consiste en un servicio de mensajería push con patrón publicador/suscriptor (pub-sub), se conecta con un servidor central denominado bróker” (Llamas, 2019). Este protocolo se compone por publicadores y suscriptores; ambos están vinculados con el bróker. El publicador puede enviar un mensaje a través de un tópico y el suscriptor puede verlo suscribiéndose a dicho tópico.

Para filtrar los mensajes enviados a cada cliente, éstos se disponen en “topics” organizados jerárquicamente. Ello permite que un cliente

publique un mensaje en un determinado topic y que otros clientes se suscriban a ese topic; el bróker hará llegar los mensajes suscritos, por lo cual la tarjeta ESP32 será un cliente que publicará datos de las lecturas de los respectivos sensores; una vez que la aplicación se suscriba al topic mencionado, obtendrá los datos, que se visualizarán en la aplicación.

El envío de datos desde la tarjeta ESP32 a la plataforma HiveMQ, que para este caso será nuestro Bróker se debe realizar en formato JSON (figura 6); éste es un objeto que tiene un nombre; dentro del mismo se agregan subramas correspondientes a cada uno de los datos que se desea enviar.

```

esp32c-default-rtddb
├── ESP-Udemy
├── Mediciones
│   ├── Velocidad del viento: 17
│   ├── bm
│   │   ├── Altitud atmosferica: 1513.433472
│   │   ├── Humedad atmosferica: 25.977539
│   │   └── Presion atmosferica: 844.194153
│   └── dt
│       ├── Humedad: 30.700001
│       ├── Temperatura: 29.799999
│       └── Temperatura atmosferica: 30.370001

```

Figura 6. Formato JSON.

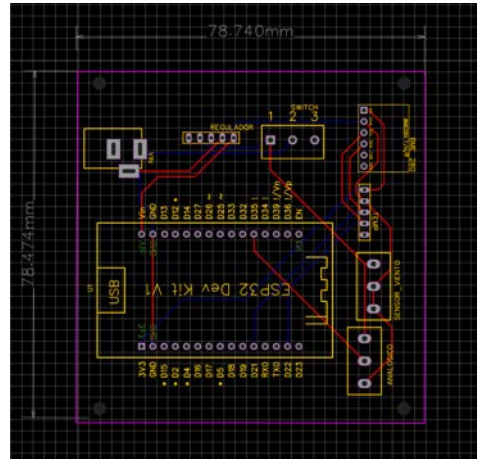


Figura 8. Diseño de PCB.

El desarrollo de la aplicación móvil se implementó en el programa Android Studio, en el cual se diseñó la interfaz gráfica y la parte de visualización de los datos en dicha interfaz.

Para la implementación del prototipo físico (figuras 9 y 10) se requiere una caja; ésta debe cumplir con ciertos requisitos: que no le entre el agua, pues será ubicada a la intemperie para que sea posible obtener mediciones correctas; asimismo, se necesita una base para fijar el anemómetro.



Figura 7. Interfaz de la Aplicación móvil.

Para el diseño de la tarjeta de circuito impreso, se utilizó el programa gratuito en línea EasyEDA; éste permite elaborar esquema de nuestro circuito y posteriormente diseñar las pistas del PCB, junto con las orientaciones de los componentes electrónicos. El último paso supone generar los códigos GERBER, para su envío a fabricación.



Figura 9. PCB físico.



La conexión con la plataforma ThingSpeak permitirá realizar el análisis estadístico de las bases de datos obtenidas en esta la misma, a fin de obtener la caracterización térmica del área de muestreo. Estos datos pueden ser extraídos de la plataforma ThingSpeak en un archivo de Excel; para graficar los datos obtenidos, se lee el archivo Excel en formato xlsx en el programa Octave, en el que, columna por columna, viene registrada cada medición. Por último, se graficará cada variable meteorológica, con la finalidad de visualizar su comportamiento durante el periodo de tiempo de que se trate.



Figura 10. Implementación del prototipo.

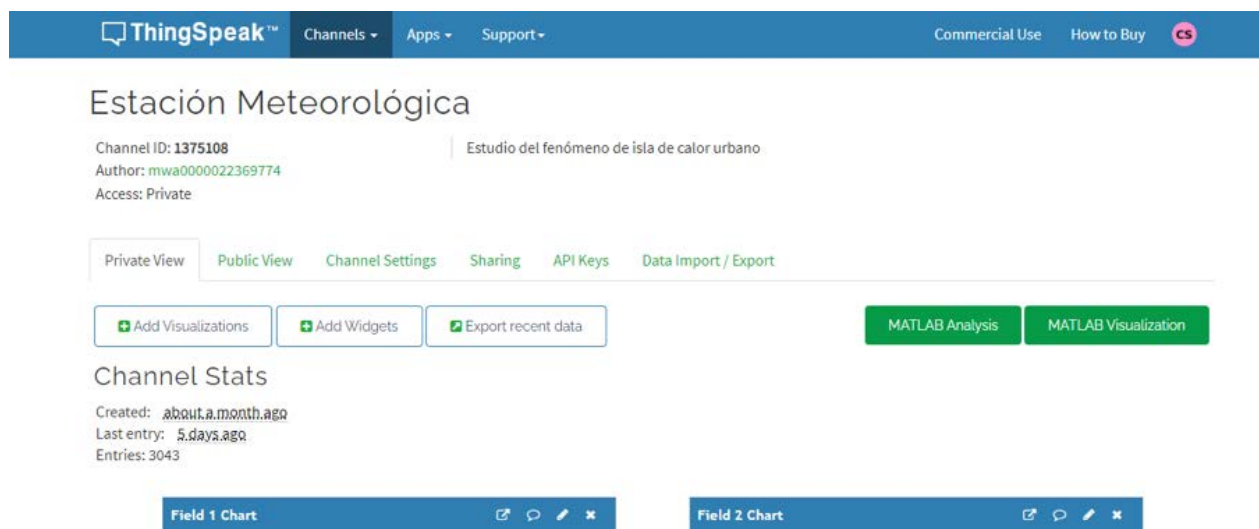


Figura 11 Plataforma ThingSpeak.

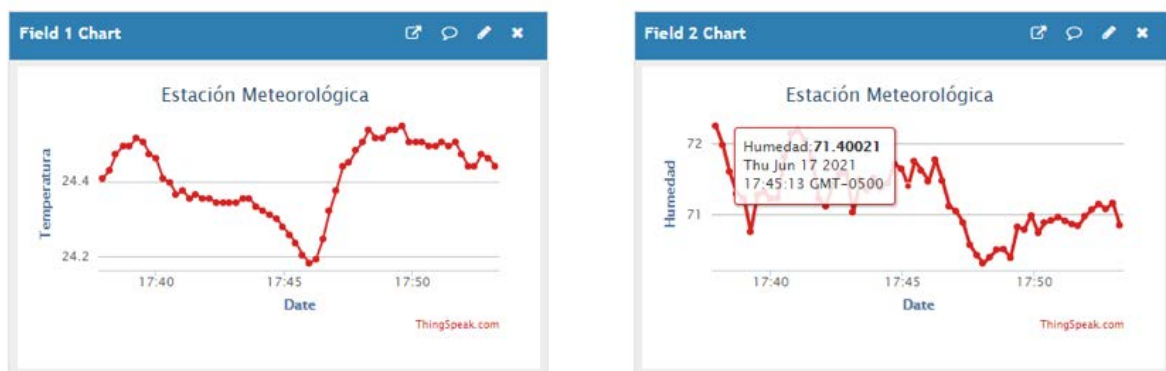


Figura 12. Registro de datos de humedad y temperatura.

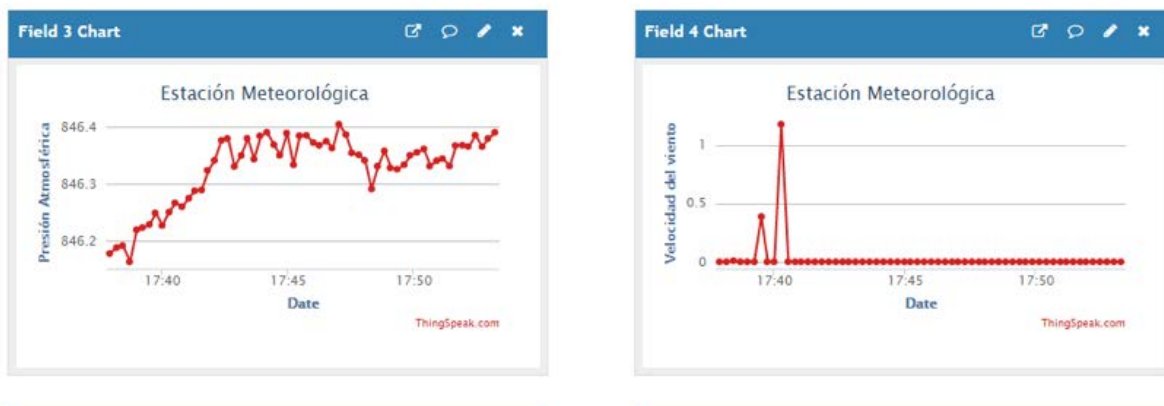


Figura 13. Registro de datos de presión atmosférica y velocidad del viento.

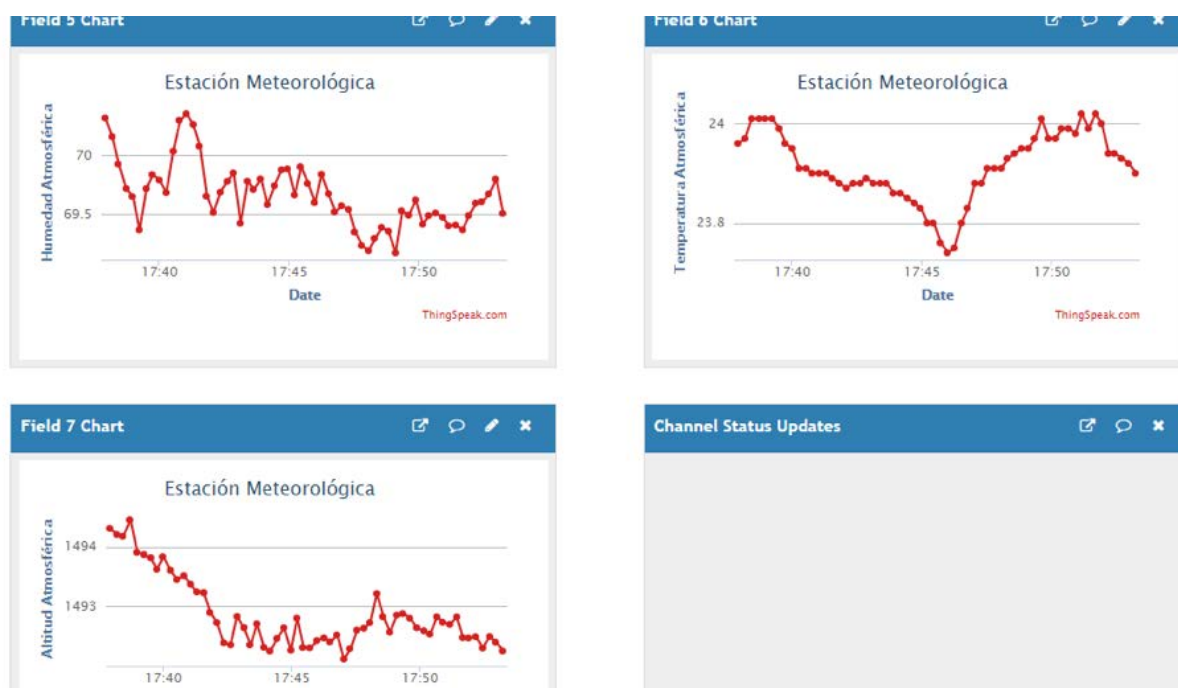


Figura 14. Registro de datos de humedad, altitud y temperatura atmosférica.

## 4. CONCLUSIONES

A lo largo de esta trabajo se desarrolló un dispositivo que permitirá realizar el registro y almacenamiento de datos correspondientes a parámetros meteorológicos que intervienen en la presentación del fenómeno de isla de calor urbano, esto es, temperatura, humedad, presión atmosférica, altitud atmosférica y velocidad del viento. Ello se logra a través de adquisición de datos de sensores por medio de la tarjeta ESP32; ésta posee una conexión wifi que permite subir los datos recopilados por los sensores a una aplicación móvil mediante el protocolo MQTT, cuya conectividad posibilita el monitoreo de dichos datos. Aplicando la tecnológica del internet de las cosas con la plataforma ThingSpeak, es posible realizar el análisis estadístico de los datos almacenados para exportarlos al programa Octave, lo que posibilita la observación y el análisis del comportamiento de cada variable meteorológica durante cierto periodo de tiempo.

## Referencias

INECC (2019): Informe nacional de calidad del Aire 2018. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático/Semarnat.

Llamas, L. (2020, abril 15). *SENSOR AMBIENTAL CON ARDUINO Y BME280*. Ingeniería, informática y diseño. <https://www.luisllamas.es/sensor-ambiental-arduino-bme280/>

Llamas, L. (2019, abril 17). *¿Qué es MQTT? Su importancia como protocolo IoT*. <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>

Pérez, C. A. (2014). Islas de calor urbano en Tampico, México. Impacto en el microclima a la calidad del hábitat. *Nova Scientia*, 7(13). Universidad de La Salle Bajío, México.

Solís, J. V., et al. (2012). Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de mitigación en ciudades de clima árido extremo. *Información Tecnológica* 24(1), 15-24.

Derechos de Autor (c) 2022 Eric Mario Silva Cruz y César Eduardo Sánchez Sánchez



Este texto está protegido por una licencia *Creative Commons 4.0*.

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)