

# Desarrollo de un sistema embebido de monitoreo de control del proceso de climatización del TECNM Campus Villa La Venta

## Development of an embedded control monitoring system for the air conditioning process of the TECNM Campus Villa La Venta

**Luis David May-Burgos**

Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta, México

E-mail: [luis.mb@laventa.tecnm.mx](mailto:luis.mb@laventa.tecnm.mx) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9588-685X>

**Fabiola Cruz-Gutiérrez**

Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta, México

E-mail: [faby.cg@laventa.tecnm.mx](mailto:faby.cg@laventa.tecnm.mx) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2577-7265>

**Emmanuel Ortiz Castillo**

Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta, México

E-mail: [emmanuel.oc@laventa.tecnm.mx](mailto:emmanuel.oc@laventa.tecnm.mx) ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6039-5331>

**Emmanuel Alexander Torres Chable**

Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta, México

E-mail: [emmanuel.tc@laventa.tecnm.mx](mailto:emmanuel.tc@laventa.tecnm.mx) ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0816-4057>

### Resumen

El proyecto se basa en el desarrollo de un sistema embebido para monitorear y controlar la climatización en el TECNM Campus Villa La Venta, con el propósito específico en el ahorro de energía en los edificios. Utiliza componentes como el módulo XBee S2C para la comunicación inalámbrica y considera la configuración de cifrado para garantizar la seguridad de las comunicaciones. Además, explora la estructura jerárquica de los "Topics" en el protocolo MQTT para facilitar el intercambio de datos entre los nodos del sistema. Este proyecto presenta un enfoque de investigación cuantitativo, que busca aplicar tecnologías embebidas para mejorar la eficiencia energética en el campus. Al integrar sistemas de monitoreo y control, se pretende optimizar el consumo de energía y crear un entorno más sostenible. Esta investigación y desarrollo se centra en la aplicación práctica de tecnologías embebidas para el monitoreo y control de la climatización, con un énfasis particular en el ahorro de energía en los edificios del campus.

### Palabras Clave

IR Infrarrojo, Node Red, Xbee, Esp8266 Microcontrolador y Sensores.



## Abstract

The project focuses on the development of an embedded system to monitor and control air conditioning at the TECNM Campus Villa La Venta, with a specific purpose on energy savings in buildings. Use components such as the XBee S2C module for wireless communication and consider encryption settings to ensure communication security. Additionally, it explores the hierarchical structure of "topics" in the MQTT protocol to facilitate data exchange between system nodes. This project represents a research and development approach that seeks to apply embedded technologies to improve energy efficiency on campus. By integrating monitoring and control systems, the aim is to optimize energy consumption and create a more sustainable environment. This research and development approach focuses on the practical application of embedded technologies for climate control and monitoring, with a particular emphasis on energy savings in campus buildings.

## Keywords

Go Infrared, Node Red, Xbee, Esp8266 Microcontroller and Sensors.

## Zusammenfassung

Das Projekt konzentriert sich auf die Entwicklung eines eingebetteten Systems zur Überwachung und Steuerung der Klimaanlage auf dem TECNM Campus Villa La Venta, mit besonderem Schwerpunkt auf Energieeinsparungen in Gebäuden. Verwenden Sie Komponenten wie das XBee S2C-Modul für die drahtlose Kommunikation und berücksichtigen Sie Verschlüsselungseinstellungen, um die Kommunikationssicherheit zu gewährleisten. Darüber hinaus wird die hierarchische Struktur von „Themen“ im MQTT-Protokoll untersucht, um den Datenaustausch zwischen Systemknoten zu erleichtern. Dieses Projekt stellt einen Forschungs- und Entwicklungsansatz dar, der darauf abzielt, eingebettete Technologien zur Verbesserung der Energieeffizienz auf dem Campus einzusetzen. Ziel ist es, durch die Integration von Überwachungs- und Steuerungssystemen den Energieverbrauch zu optimieren und eine nachhaltigere Umwelt zu schaffen. Dieser Forschungs- und Entwicklungsansatz konzentriert sich auf die praktische Anwendung eingebetteter Technologien zur Klimaregelung und -überwachung, mit besonderem Schwerpunkt auf Energieeinsparungen in Campusgebäuden.

## Schlüsselwörter

Go Infrarot, Node Red, Xbee, Esp8266 Mikrocontroller und Sensoren.

## 1. Introducción

La gestión eficiente del consumo de energía en el TECNM Villa La Venta se ha convertido en una prioridad fundamental en la actualidad, ya que esta institución desempeña un papel crucial en la formación de futuras generaciones y en la investigación de soluciones para los desafíos energéticos y climáticos. El gasto de energía en el TECNM



Campus Villa La Venta, afecta los recursos financieros, el impacto ambiental de la institución, y por consiguiente la comodidad de los estudiantes y el personal.

El consumo de energía se ve influido por las condiciones climáticas, así como las estrategias y tecnologías que se implementan para mitigar este consumo. Con el fin de promover la eficiencia energética y contribuir a un futuro más respetuoso con el medio ambiente; se presentan los aspectos clave del desarrollo de un sistema embebido de monitoreo y control del proceso de climatización, destacando su importancia en la mejora de la eficiencia energética, la comodidad del usuario y la reducción del impacto ambiental. Además, las tecnologías y metodologías involucradas en la creación de estos sistemas, así como sus aplicaciones potenciales en diversas industrias.

## 2. Estado del arte o Marco Teórico

### 2.1 IR Infrarrojo

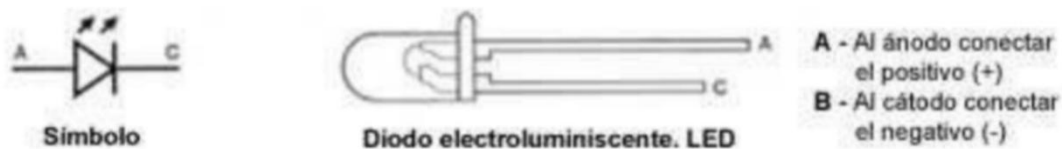
La radiación infrarroja (IR) determina la temperatura de un objeto al detectar y cuantificar la radiación infrarroja emitida. Este tipo de tecnología está diseñado para la detección, clasificación y posicionamiento de objetos, así como para la detección de formas, colores y diferencias de superficie. En los últimos años, se ha considerado como una alternativa sustentable para aparatos eléctricos (Herschel et al., 2020).

El diodo emisor de luz infrarroja (IR LED) es un dispositivo que emite rayos infrarrojos, una forma de radiación electromagnética situada en el espectro electromagnético entre la luz visible y las microondas (Good et al., 2022). Las ventajas más notables de este tipo de dispositivos son su construcción simple, su tamaño compacto y su bajo costo (Yan et al., 2021). Una estructura típica de un diodo IR LED en la figura 1.



**Figura 1**

*Diagrama esquemático IR LED.*



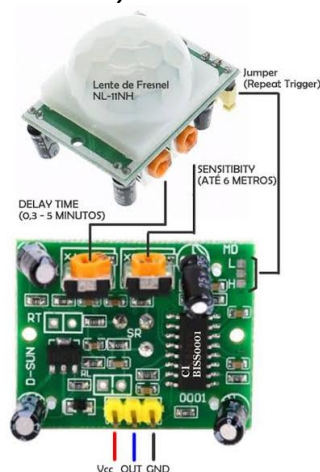
*Nota: En la figura 1, el ánodo "A" nos indica el positivo del IR LED, y el catado "B" es el negativo. Tomado infrarrojo ir (p.25), por Herschel et al., 2020.*

## 2.2 Sensor PIR.

Los sensores de presencia PIR (Passive Infrared) son dispositivos que detectan movimientos de objetos basándose en cambios en el nivel de radiación infrarroja emitida por estos objetos. Estos sensores son comúnmente utilizados en aplicaciones de seguridad, iluminación automática, sistemas de alarma y automatización del hogar. En la figura 2 se presenta físicamente, incluyendo sus terminales de conexión (S.C. Edgar, 2011).

**Figura 2**

*Representación física del sensor Hc-sr501 y sus terminales de conexión.*



*Nota: El sensor de presencia PIR (Passive Infrared) en la figura 2, cuenta con diversas terminales de conexión: VCC para la alimentación, OUT para la salida de 0 a 3.3V, GND para la conexión a tierra. Tomado de punto Flotante S.A. 2017*

Además, ofrece la posibilidad de ajustar el tiempo de retardo entre 3 segundos y 5 minutos mediante la terminal DELAY TIME, y ajustar la sensibilidad entre 3 y 7 metros utilizando la terminal SENSITIVITY.

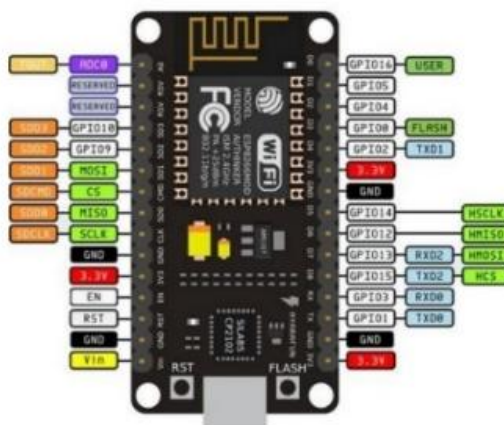


### 2.3 ESP8266

El ESP8266, representado en la figura 3, es un microcontrolador perteneciente a una generación de computadoras embebidas que no solo limita sus comunicaciones a medios alámbricos y de radio, sino que también ofrece conexión inalámbrica a través de WiFi (Martín, G., 2014).

**Figura 3**

*Representación física del microcontrolador y sus pines.*



*Nota: Pines del microcontrolador ESP8266. Tomado UCV facultad de ingeniería (p. 5), por Martín, G., 2014.*

### 2.4 Node-Red

Node-Red es una herramienta de programación diseñada para conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea. Permite llevar a cabo el proceso de programación de una forma más fácil y sencilla para el usuario, al eliminar la necesidad de escribir líneas de comandos. Node-Red es un editor de flujo donde los usuarios agregan nodos para facilitar la comunicación entre ellos. En la figura 4 se muestra el espacio de trabajo, dividido en secciones.



**Figura 4**  
*Estructura del espacio de trabajo Node-Red.*

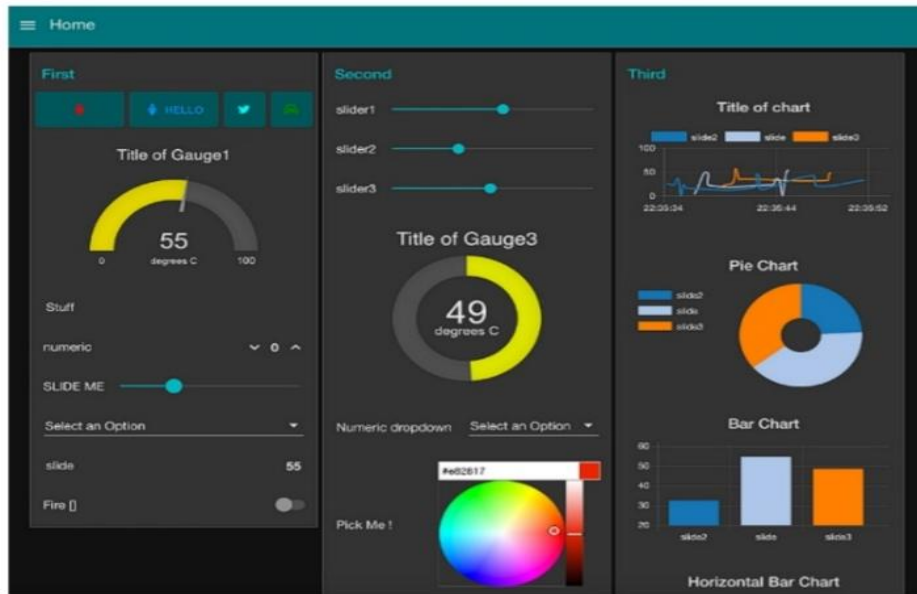


*Nota: El espacio de trabajo se divide en secciones, como se muestra en la Figura 4. Elaboración propia.*

Se presenta la cabecera, que contiene la barra de herramientas y el botón "deploy", el cual realiza una compilación del código a implementar, verificando la ausencia de errores. De igual forma se tiene la paleta de nodos, donde se están todos los nodos disponibles para su utilización. El espacio de trabajo es el área en blanco donde se desarrollan los distintos programas. Por último, la barra lateral derecha contiene una serie de herramientas, como la "Información sobre los nodos", la "Depuración de mensajes" y la "Configuración de nodos", además de permitir el acceso al "Dashboard".

**2.4.1 Dashboard de Node-Red:** El Dashboard, como se muestra en la Figura 5, "es una interfaz que permite al usuario interactuar y visualizar el programa realizado mediante el uso de distintos nodos, como botones, barras deslizantes, varios tipos de gráficas, mensajes de texto, entre otros" (Mancera, J., 2021).

**Figura 5**  
*Interfaz de Dashboard de Node-Red.*



*Nota: Interfaz Dashboard. Tomado de quipo grupo sinelec (2021, febrero 4).*

## 2.5 MQTT

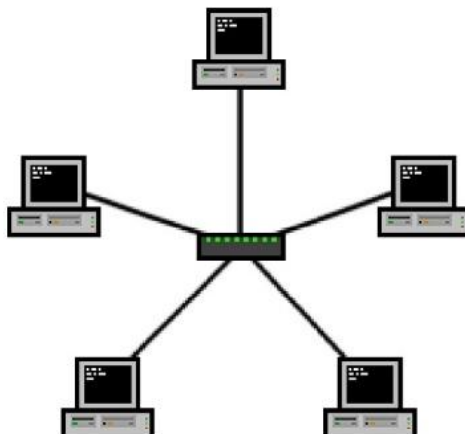
MQTT son las siglas del protocolo "Message Queue Telemetry Transport". Se trata de un protocolo diseñado por IBM para facilitar el intercambio de información entre diferentes máquinas con un consumo muy bajo de ancho de banda y pocos recursos necesarios para su implementación.

La topología del sistema es del tipo estrella. Esto implica que se utiliza un equipo que actúa como nodo central (llamado "broker"), encargado de gestionar los accesos a la red de una variedad de nodos periféricos, como se muestra en la Figura 6 (Stanford & Nipper, 2001).



**Figura 6**

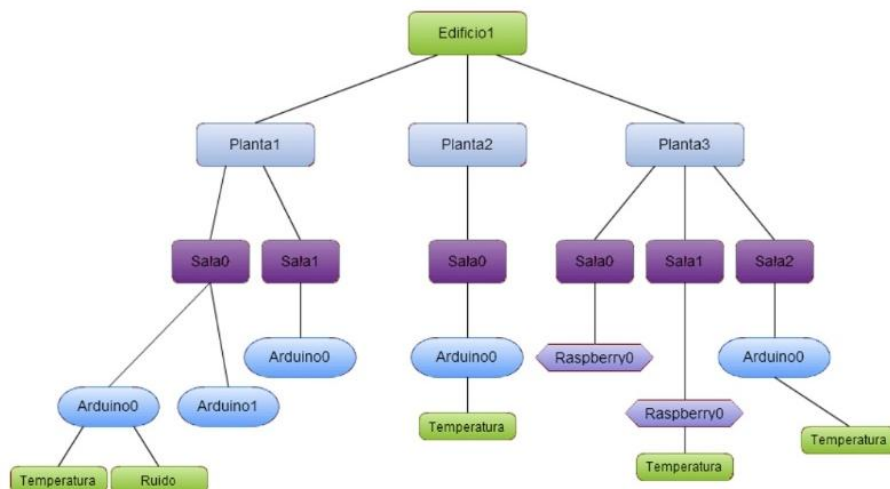
*Diagrama esquemático de conexión estrella MQTT.*



*Nota: El protocolo MQTT figura 6, también permite la configuración de cifrado para las comunicaciones en la red, lo que lo hace aún más interesante para su utilización en el ámbito del Internet de las Cosas por, (Rodrigo B.C., 2022).*

**2.5.1 Topic MQTT:** Los topics se estructuran de forma jerárquica, estableciendo diversas relaciones padre-hijo entre los distintos "topics" existentes. De esta manera, si un nodo se suscribe a un determinado "topic", recibirá información de todos los "topics" hijos que cuelgan de él. Por ejemplo, en la estructura mostrada en la Figura 7, si un nodo se suscribe al "topic" "Planta 1", recibirá información de todos los equipos que se encuentran por debajo: Arduino0, Arduino1 y los sensores de temperatura y ruido (Utilización p. MQTT, 2016).

**Figura 7**  
 Visualización de los tópicos en un sistema.



*Nota: Separación de tópicos de un edificio y cada uno con su respectivo enlace. Tomado de p. MQTT, 2016.*

## 2.6 Xbee S2C

En el panorama de las comunicaciones inalámbricas, el XBee S2C como una pieza fundamental en la creación de redes de sensores y sistemas de telemetría. Fabricado por Digi International, representa una evolución significativa en el campo de la conectividad inalámbrica.

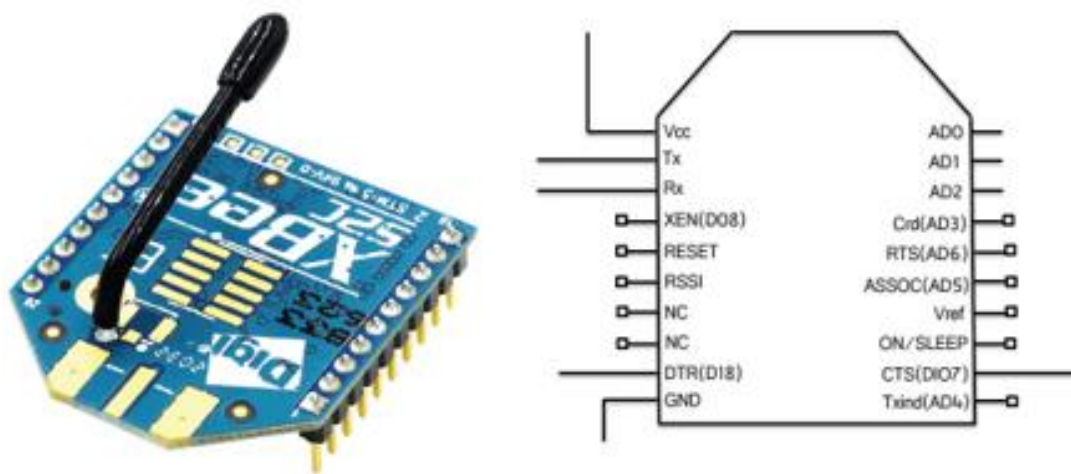
Este módulo de comunicación inalámbrica, ofrece una serie de características innovadoras que lo distinguen en el mercado. Equipado con una antena integrada o externa, el XBee S2C garantiza un rendimiento óptimo en la transmisión y recepción de señales inalámbricas, lo que lo convierte en una opción ideal para aplicaciones que requieren comunicación a larga distancia.

La interfaz de datos del XBee S2C facilita la integración con otros dispositivos, permitiendo una comunicación fluida, según la configuración específica del módulo. Además, su amplia gama de entradas y salidas digitales, junto con algunas versiones que ofrecen entradas analógicas, proporcionan flexibilidad en la conexión y control de una variedad de sensores y actuadores.



Una de las características más destacadas del XBee S2C figura 8, es su capacidad para establecer comunicación inalámbrica utilizando tecnologías avanzadas como Zigbee, DigiMesh. Estas tecnologías permiten la creación de redes robustas y confiables, adaptándose a una variedad de aplicaciones en el contexto de la Internet de las cosas (IoT), (Doe, J.,2009).

**Figura 8**  
 Módulo XBee S2C.



*Nota: El módulo XBee S2C figura 8, es un componente fundamental para la comunicación inalámbrica, incluye una variedad de componentes esenciales. Tomado de Digi, por Doe, J.,2009.*

Estos incluyen el módulo XBee S2C en sí mismo, una antena para la transmisión y recepción de datos, conectores de alimentación (VCC y GND) para proporcionar energía, pines de E/S para la conexión de dispositivos externos, pines de configuración (RX, TX, DIO) para la configuración y comunicación serial, y Leds indicadores para mostrar el estado de la conexión y actividad de datos (Digi,2010).

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1 Enfoque y tipo de investigación

En este proyecto se presenta una investigación con un enfoque cuantitativo que busca la optimización del consumo de energía y la comodidad de los usuarios. Este proyecto



implica el diseño e implementación de un sistema tecnológico que utiliza dispositivos como sensores, microcontroladores y protocolos de comunicación como MQTT. El objetivo principal es crear un sistema eficiente que permita monitorear y controlar los aires acondicionados en el campus.

En cuanto al tipo de investigación, se tiene del tipo aplicada, consiste en la aplicación de conocimientos teóricos para diseñar y construir soluciones prácticas a problemas específicos. y podría clasificarse como un proyecto de investigación y desarrollo en el campo de la ingeniería de sistemas embebidos y la automatización de edificios. Además, el proyecto busca implementar tecnologías existentes en un contexto específico para resolver una necesidad práctica de un sistema embebido para monitorear y controlar la climatización en el TECNM Campus Villa La Venta, utilizando un enfoque de investigación y desarrollo en el campo de la ingeniería de sistemas embebidos y la automatización de edificios.

### **3.2 Fuentes de investigación**

Las fuentes utilizadas fueron, tesis, artículos, así como también las entrevistas a los investigadores colaboradores de este trabajo, quienes, al ser expertos en el tema, proporcionaron información de primera calidad.

### **3.3 Métodos utilizados**

- Documentación sobre el tema.
- Determinación de los materiales y equipos necesarios.
- Diseño de la solución del problema.
- Validación del prototipo.

### **3.4 Instrumentos para la recolección de datos**

Los instrumentos de recolección de datos fueron en documentos, observación, el muestreo, la entrevista realizada a los investigadores.

Los materiales y equipos empleados para dichos procedimientos se tienen: Equipo de Cómputo, Fuentes de alimentación de CD, y demás equipo de fabricación de acuerdo con las etapas del proyecto.



### 3.5 Desarrollo de la Metodología

**3.5.1 Documentación del tema:** Con la información obtenida en el proceso se determinaron los valores y parámetros que debe cumplir el prototipo a construir, mismo que permitió la selección de los materiales y elementos que se pretenden utilizar en la construcción del módulo embebido.

**3.5.2 Diseño del módulo embebido:** Las consideraciones a tratar del diseño son:

- El prototipo tiene que poseer la mayor autonomía.
- Las medidas del prototipo deben de ser cercanos a lo que se encuentra comercialmente, que sea de fácil manejo y tamaño reducido.
- El prototipo tiene que ser confiable y seguro.
- Se debe seguir las restricciones y condiciones establecidas por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SCFI-1993.

**3.5.3 Selección de los materiales:** Se seleccionará y se analizarán los materiales para el sistema embebido, los cuales estarán sometidos a prueba de distancia/remoto y a cambios de temperatura. Las consideraciones para la selección del material del sistema embebido son:

- Xbee.
- Sensores.
- Visibilidad.
- Microcontrolador ESP8266.
- Node Red.
- Ir infrarrojos.

De acuerdo con la investigación de campo que se realizó, en el factor de mercado se encontró que no ocupan el Xbee, ya que los otros tipos de sistema embebido están planteados para una sociedad en donde no se tenga mala señal o interferencia, dado que sean materiales adecuados para el prototipo a pesar que tenga algunas negativas.

**Tabla 1**



### Especificación general de los pines XBee

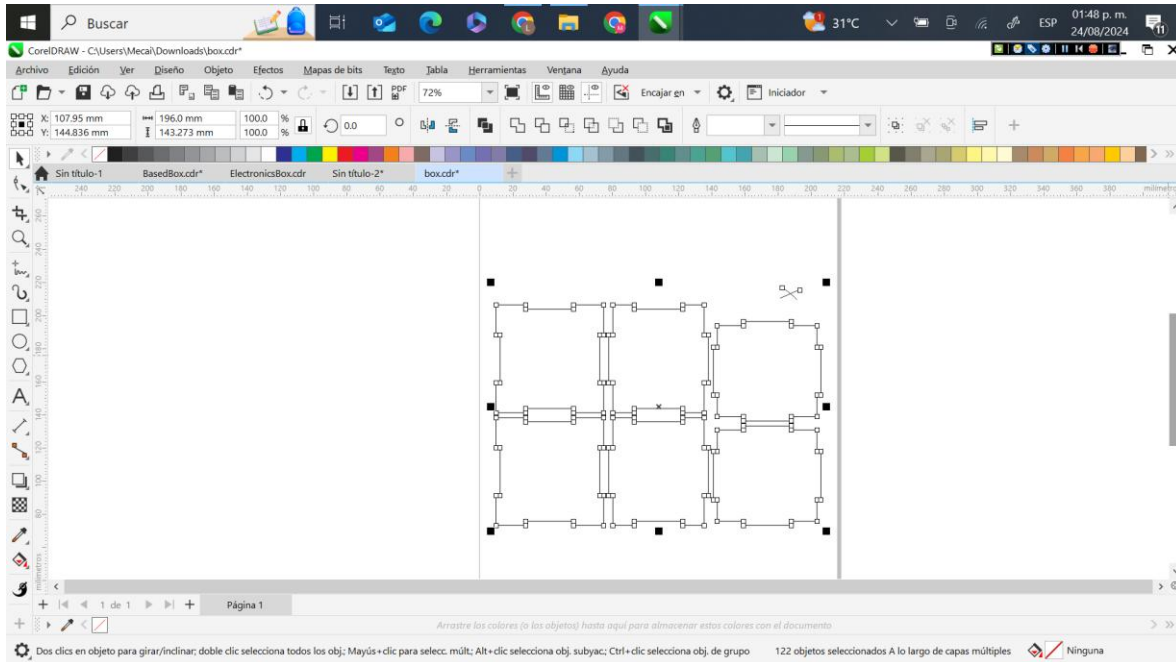
Numero de Pin	Nombre	Dirección	Estado por defecto	Descripción
1	VCC	-	-	Voltaje de alimentación
2	DOUT	Salida	Salida	Salida de datos <i>UART</i>
3	DIN / CONFIG	Entrada	Entrada	Entrada de datos <i>UART</i>
4	DIO12	Ambas	Desactivada	Entrada/Salida <i>Digital</i> 12
5	RESET	Ambas	Resistencia de enganche hacia colector	Modulo <i>Reset</i> (el pulso <i>reset</i> debe durar al menos 200ns)
6	RSSI PWM / DIO10	Ambas	Salida	Indicador de señal RX / Entrada/Salida <i>Digital</i>
7	DIO11	Ambas	Entrada	Entrada /Salida <i>Digital</i> 11
8	[reserved]	-	Deshabilitado	No conectar
9	DTR / SLEEP_RQ / DIO8	Ambas	Entrada	Pin para reposo o Entrada/Salida <i>Digital</i> 8
10	GND	-	-	Tierra
11	DIO4	Ambas	Deshabilitado	Entrada/Salida <i>Digital</i> 4
12	CTS / DIO7	Ambas	Salida	Limpiar, Enviar flujo de control o Entrada/Salida <i>Digital</i> 7. CTS la salida es activada.
13	ON / SLEEP	Salida	Salida	Indicador de estado del módulo o Entrada/Salida <i>Digital</i> 9.
14	VREF	Entrada	-	No usada para EM250. Usada para programar un segundo procesador. Para compatibilidad con otro modulo *XBee, se recomienda conectar el pin de voltaje de referencia si una muestra análoga es deseada, de otra manera se conecta a tierra.
15	Associate / DIO5	Ambas	Salida	Indicador Asociado, Entrada/Salida 5.
16	RTS / DIO6	Ambas	Entrada	Solicitud para enviar flujo de control, Entrada/Salida <i>Digital</i> 6. RTS, si es activado, es una entrada.

Fuente: Asignación de pines. Tomado (Digi International, 2018).

**3.5.4 Estructura de la carcasa del sistema embebido:** La estructura del módulo embebido y de la carcasa es apto para interiores, con el objetivo de lograr seguridad al momento de realizar las conexiones y el fácil uso de colocarla de un lugar a otro. La carcasa estará construida de MDF de 3mm. Dicho material se encuentra en cualquier maderería y se puede personalizar las carcasas para uso exclusivo de cada persona, su costo es relativamente bajo comparado con otros materiales y estéticamente le da un toque de elegancia al área, al igual que es ligero. En la figura 9 se muestra el diseño que deberá construirse.



**Figura 9**  
*Planos de diseño del chasis.*

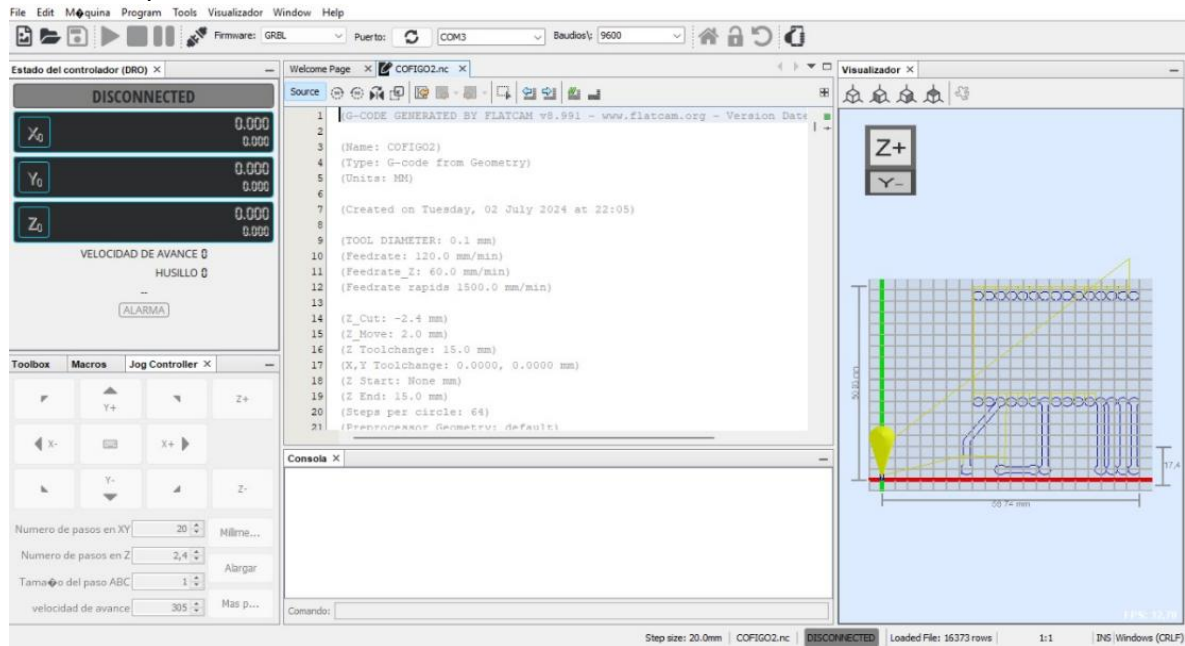


*Nota: Elaboración propia.*

**3.5.5 Estructura del sistema embebido:** El sistema embebido tiene los siguientes componentes: Emisor IR el cual permite mandar la señal a los climas, microcontrolador ESP8266 el cual será nuestro circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria, XBee es un dispositivo de radio que ocupa varios protocolos de comunicación para enviar información, como los datos de un sensor en este caso el sensor de temperatura.

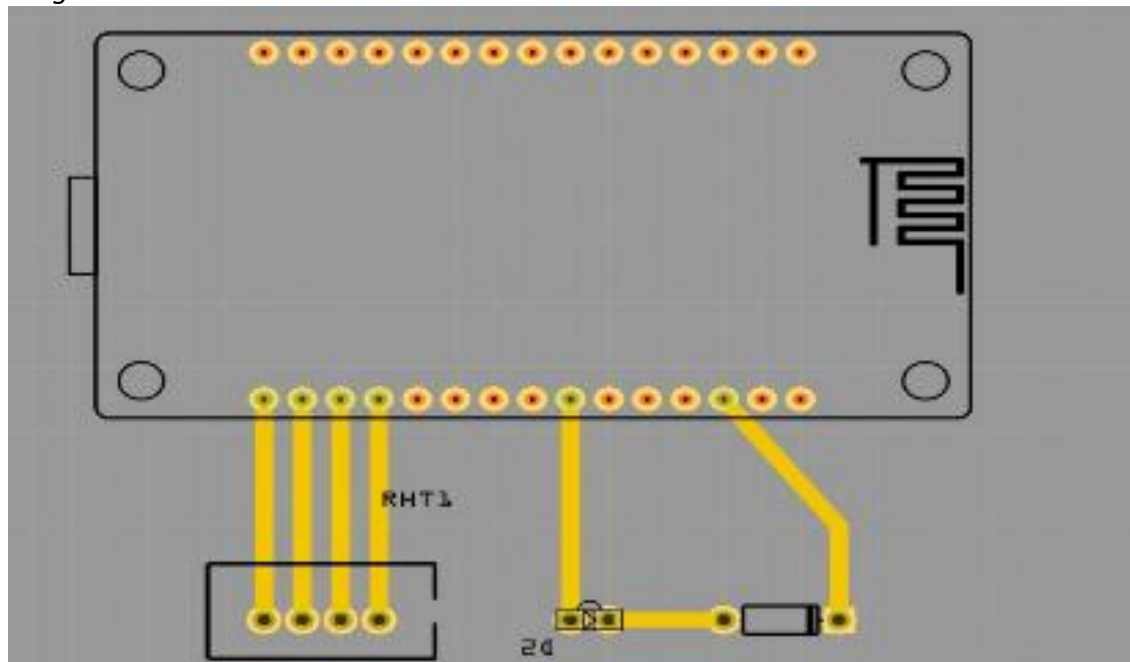


**Figura 10**  
*Circuito impreso del sistema embebido.*



*Nota: En la figura 10 se llevó a cabo el circuito impreso con una router CNC en el cual van los componentes antes mencionados en el anterior párrafo. Elaboración propia.*

**Figura 11**  
*Diagrama del circuito.*



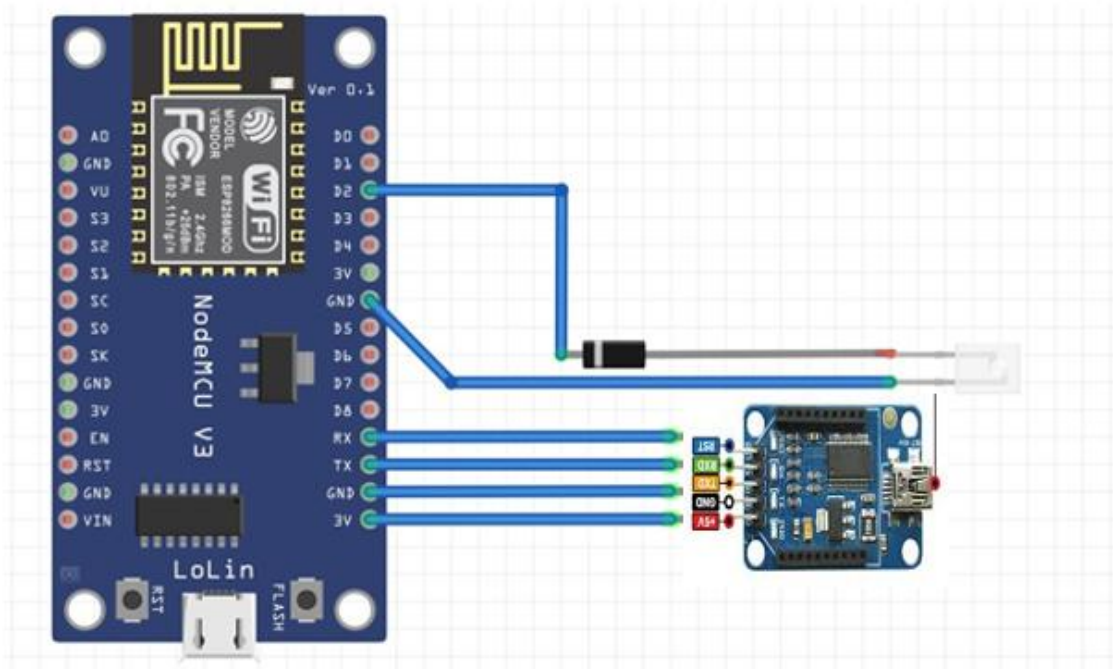
*Nota: En la figura 11 se muestra el diagrama en 2D de cómo se colocarán los componentes electrónicos en el circuito ya una vez impreso la placa del circuito. Elaboración propia.*



### 3.5.6 Conexiones Eléctricas:

**3.5.6.1 Controlador Xbee:** En el circuito de conexiones eléctricas en la figura 12, se aprecia las conexiones del sensor de Xbee, de manera autónoma por medio de un microcontrolador. El funcionamiento lo define el controlador leyendo los datos y comparando a un punto de referencia introducido en el node red que es la nube de dato enlazado.

**Figura 12**  
Conexión del Xbee.



*Nota: El Xbee cuenta con 4 pines que van dirigido al microcontrolador. Elaboración propia.*

### 3.5.7 Código del programa:

**3.5.7.1 Código en Arduino:** El programa de Arduino es un software para programar la placa que es un ESP8266 y un XBEE. En este proyecto, se explora cómo integrar estos módulos con un ESP8266 para controlar un aire acondicionado, con un enfoque en la implementación y configuración del hardware y software necesarios. En la figura 15 se presenta un ejemplo de cómo se controla mediante señales IR, se puede utilizar la biblioteca IRremote de Arduino para enviar señales infrarrojas.



**Figura 13**  
*Código de control.*

```
#include <IRremote.h>

IRsend irsend;

void setup() {
  irsend.begin();
}

void loop() {
  irsend.sendNEC(0xA90, 32); // Reemplazar con el código IR correspondiente
  delay(2000);
}
```

*Nota: Este código utiliza la biblioteca IRremote para enviar una señal IR que activa el aire acondicionado. Tomado de naylamp por, Bolaños D J (p.7),2016.*

#### 4. Resultados

A continuación, se presentan las imágenes del sistema embebido de monitoreo de control del proceso de climatización del TECNM, con base en la metodología desarrollada, y con el apoyo de residencia profesional de alumnos del instituto. La figura 14 y 15 presentan las etapas del armado e interconexión del prototipo resultante.

**Figura 14**  
*Armado de chasis del sistema embebido.*



*Nota: Elaborado con la cortadora láser en el cual se ocupa el programa Corel Draw.*

**Figura 15**  
 Circuito del sistema.



*Nota: En la figura 15 se muestra el sistema embebido realizado en físico con los componentes mencionados en el desarrollo de la metodología. Elaboración propia.*

En la figura 16 se muestra el código de comunicación.

**Figura 16**  
 Circuito del sistema.

```
#include <Arduino.h>//Libreria que sirve para crear constantes
#include <IRremoteESP8266.h>//Libreria que sirve para poder leer los datos del control IR.
#include <IRsend.h>// Libreria hecha para enviar datos IR
#define D3 0

const uint16_t kIrLed = 4; // PIN donde va el led IR.

IRsend irsend(kIrLed);//Se hace un tipo objeto para guardar el led IR emisor.

#define MSG_BUFFER_SIZE (50)//Se define el tamaño de la señal.
char msg[MSG_BUFFER_SIZE];//se asigna la variable tipo char para guardar el codigo de la accion del boton.
int value = 0;
char x = '3';
// Example of data captured by IRrecvDumpV2.ino

uint16_t rawDataon[227] = {3636, 1796, 392, 1432, 368, 1432, 366, 432, 366, 412, 388, 432, 366, 1432, 342, 456, 342, 456, 366, 1410, 390, 1412, 390, 432,

uint16_t rawDataoff[227] = {3604, 1852, 336, 1462, 336, 1462, 362, 436, 360, 440, 338, 462, 336, 1462, 362, 438, 360, 378, 418, 1442, 334, 1464, 360, 438,

//Todos los datos registrados
```



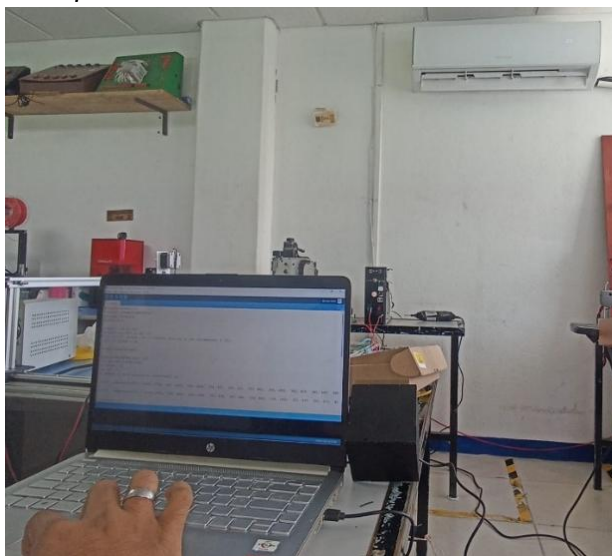
```
void setup() {  
  Serial.begin(9600); //Se activa el monitor serial.  
  irsend.begin(); //Se activa la comunicacion con el ir  
  digitalWrite(pirPin, LOW);  
}  
  
void loop() {  
  if (Serial.available()) {  
    String x= Serial.readStringUntil('\n'); //Detecta algun numero enviado desde la computadora central con ayuda del xbee  
    delay(100);  
    if (x == "53") {  
      irsend.sendRaw(rawDataon, 227, 38);  
  
      Serial.write("ENCENDIDO");  
  
      //Al recibir el numero 53 que es el que envia el xbee central manda a encender el aire acondicionado.  
    }  
    if (x == "54") {  
      irsend.sendRaw(rawDataoff, 227, 38);  
  
      Serial.write("APAGADO");  
      delay(100);  
    }  
  }  
  //Al recibir el numero 54 que es el que envia el xbee central manda a apagar el aire acondicionado.  
}
```

*Nota: En la figura 16 se muestra el código de la comunicación entre estos dos dispositivos. Elaboración propia.*

Se llevaron a cabo pruebas para las señales de los climas con el fin de conocer las señales distintas de marcas en el cual puede abarcar este sistema embebido de monitoreo.

### **Figura 17**

*Funcionamiento del prototipo.*

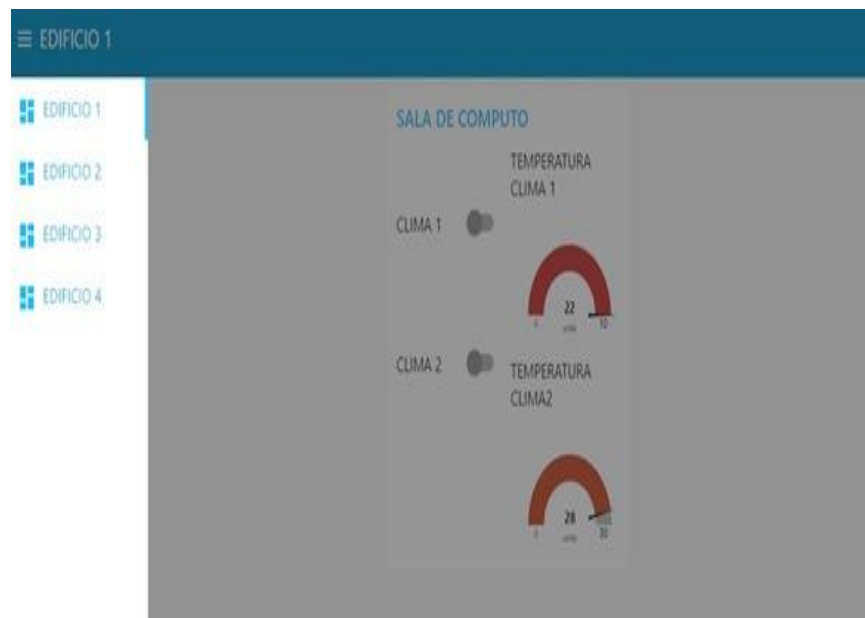


*Nota: En la figura 17 se muestra el prototipo en funcionamiento con el aire climatizado, en donde se mandó la señal y la recibe correctamente. Elaboración propia.*



**Figura 18**

*Interfaz para monitorear y controlar los climas en las diferentes áreas del TECNМ Campus villa la venta.*



*Nota: En la figura 18, se muestra las áreas que conforman el TecNM Campus villa la venta, en cada edificio se encuentra el número de aulas que tiene. Elaboración propia por, Ortiz, E, y Torres, A, 2024.*

**Figura 19**

*Prueba en los edificios del TECNМ Campus villa la venta.*



*Nota: En la figura 19, se muestra el edificio 3, el número de climas que los conforman, así como la distribución en cada aula, es posible observar el taller de mecatrónica en donde se hicieron las pruebas. Elaboración propia.*



## 5. Discusión

En investigaciones anteriores, como el trabajo "Diseño e implementación de un sistema domótico controlado mediante comandos de voz" (UPC, 2023), se destaca la eficiencia en la transmisión de datos y la seguridad en la comunicación mediante el uso de Node-RED y MQTT para la gestión de sistemas domóticos. Sin embargo, el presente estudio va más allá al integrar el protocolo MQTT con sensores de temperatura y dispositivos XBee, logrando una mayor adaptabilidad a diferentes modelos de aires acondicionados, lo cual no fue ampliamente abordado en dicho trabajo.

Por otro lado, investigaciones como "Sistema embebido para la gestión energética basado en tecnología IoT y servicios cloud" (RUA, 2019), comparten la aplicación de sistemas embebidos para la gestión energética utilizando una Raspberry Pi para la adquisición de datos y control de actuadores. No obstante, la presente investigación aporta un valor adicional al personalizar la interfaz para la gestión específica del clima en entornos educativos, optimizando la experiencia del usuario final.

En comparación con el uso de nodos de Node-RED para XBee, como "node-red-contrib-xbee" (flows.nodered.org), se evidencia un avance en la configuración de redes robustas y confiables. Mientras que dichas aplicaciones se enfocan en la conectividad general, esta investigación adapta la tecnología para entornos académicos, considerando factores como la variabilidad climática y la eficiencia energética.

Finalmente, la flexibilidad del código y la posibilidad de adaptación a distintas necesidades, destacadas en los resultados de este estudio, representan un avance significativo respecto a investigaciones previas que se centraban en soluciones más estáticas, como se observa en "Sistemas embebidos y las opciones de software libre para aplicaciones IoT" (RIA, 2020).

## 6. Conclusiones

En conclusión, el desarrollo e implementación de un sistema embebido de monitoreo y control del proceso de climatización en el TecNM Campus La Venta representa



una oportunidad significativa para mejorar la eficiencia energética, la comodidad, la sostenibilidad y la gestión de las instalaciones. Los resultados esperados de este sistema abarcan desde la reducción del consumo de energía y los costos operativos hasta una mayor adaptabilidad a las condiciones climáticas cambiantes y una plataforma para la investigación y la educación.

Este proyecto no solo tiene beneficios prácticos, como el ahorro de costos y la mejora de la calidad de vida en el campus, sino que también contribuye de manera activa al cumplimiento de objetivos ambientales. Además, puede fortalecer la imagen de la institución como líder en innovación y responsabilidad ambiental.

Es posible considerarse como un ejemplo inspirador para otras instituciones educativas y organizaciones, al demostrar cómo la tecnología y la gestión eficiente de recursos pueden converger para crear un entorno más sostenible y cómodo para todos.

#### **7. Declaración de contribución de autoría: CREdiT**

Bladimir Jaramillo Escobar: Conceptualización, Metodología. Valeria Almao Malvacias: Redacción, Resultados. Keila Vilema Herrera: Conceptualización, Discusión. Ketty Herrera Rivas: Redacción, Conclusiones y Revisión de estilo.

#### **8. Agradecimientos**

Los autores, alumnos residentes de la división de Ingeniería Mecatrónica del TecNM Campus Villa La Venta expresan su más sincero agradecimiento a personas cuyo apoyo y conocimiento han sido fundamentales en el desarrollo de este proyecto.

En primer lugar, extienden su agradecimiento al Ingeniero Luis David, miembro del cuerpo académico de la Ingeniería Mecatrónica, autor de este artículo, por su profundo conocimiento en el ámbito de Internet de las Cosas (IoT). Su experiencia ha sido invaluable para la conceptualización y ejecución de este proyecto.



Agradecen también a la Maestra en Ciencias Fabiola Cruz Gutiérrez por su excepcional desempeño en el área de la electrónica. Su orientación y apoyo técnico han sido cruciales para superar los desafíos técnicos encontrados durante la investigación.

De igual forma el agradecimiento se dirige igualmente a la Ingeniera Gloria Susana Villalobos Rodríguez, cuya orientación y dedicación en la supervisión de los alumnos de residencia en este campo de investigación han sido esenciales para el éxito del proyecto. Su compromiso y orientación han enriquecido enormemente nuestra experiencia.

Finalmente, queremos expresar nuestra gratitud al Maestro en Mecatrónica Héctor Hidalgo Leal por el apoyo brindado con sus amplios conocimientos en el control de sistemas. Su ayuda y consejos han sido determinantes en la integración y funcionamiento del sistema desarrollado.

A todos ellos, les extendemos nuestra profunda gratitud y reconocimiento por su contribución significativa a esta investigación.

### **9. Declaración de conflicto de intereses**

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia conocidos ni relaciones personales que pudieran haber parecido influir en el trabajo reportado en este artículo.

### **10. Disponibilidad de los datos**

Los autores declaran la disponibilidad de los datos previa solicitud.

### **Referencias**

1. Digi International XBee-S2C RF Transceiver Module for Street Light 2.4GHz ZigBee XB24CAWIT-001 XBee | RS. (s. f.). <https://uk.rs-online.com/web/p/communication-wireless-development-tools/1359730>



2. What is Infrared? | Fluke Process Instruments. (s. f.). Fluke Process Instruments. <https://www.flukeprocessinstruments.com/es/servicio-y-soporte/centro-de-conocimiento/tecnolog%C3%ADa-infrarroja/%C2%BFqu%C3%A9-es-infrarrojo%3F>
3. Impresiona. (2024, 27 junio). Rayos infrarrojos, ¿qué son y cómo funcionan? Evoconfort. <https://www.evoconfort.com/que-son-los-rayos-infrarrojos/>
4. 6.6. Comunicación por infrarrojo. :: Telecomunicaciones TICS. (s. f.). <https://telecomunicaciones2.webnode.mx/unidad-6/a6-6-comunicacion-por-infrarrojo-/>
5. Hernández, L. D. V. (2020, 29 mayo). Guía de introducción a MQTT con ESP8266 y Raspberry Pi. Programar fácil con Arduino. <https://programarfacil.com/esp8266/mqttesp8266-raspberry-pi/>
6. Marketing Liberty Seguros. (2021, 23 marzo). Los cinco ecosistemas para convertir tu hogar en una casa inteligente. Blog de Génesis. <https://blog.genesis.es/los-cincoecosistemas-para-convertir-tu-hogar-en-una-casa-inteligente/>
7. Team, D. (2021, 9 mayo). 4 Key IoT Protocols – Learn In Great Detail. DataFlair. <https://data-flair.training/blogs/iot-protocols/>
8. Sierra, Y. (2020, 15 enero). Grafana vs. Kibana: ¿cuáles son las diferencias y cuál es mejor? #ADNCLOUD. <https://blog.mdcloud.es/grafana-vs-kibana-diferencias/>
9. Pycom Ltd. (2021, 9 junio). Pycom - Next Generation Internet of Things Platform. Pycom. <https://pycom.io>
10. Introducción a MQTT con Node-RED, Raspberry Pi y Arduino | Instalación de Node-Red | BricoGeek Lab. (2022, 15 junio). En Ésta Guía Aprenderás Cómo Instalar Node-RED En Raspberry Pi Para Automatizar Procesos IoT Con MQTT y Arduino ESP8266/ESP32. <https://lab.bricogeek.com/tutorial/introduccion-a-mqtt-con-node-red-raspberry-pi-y-arduino/instalacion-de-node-red>
11. Connect to an MQTT Broker : Node-RED. (s. f.). <https://cookbook.nodered.org/mqtt/connect-to-broker>



12. Graphic design software with CorelDRAW Graphics Suite. (s. f.).  
<https://www.coreldraw.com/la/product/coreldraw/#>
13. Digi International. (2014). XBee/XBee-PRO® Zigbee® RF modules hardware guide.  
Digi International.  
<https://www.digi.com/resources/documentation/Digidocs/90001532-2.pdf>
14. IRremote Library. (n.d.). IRremote: Arduino infrared remote library. Retrieved from  
<https://github.com/z3t0/Arduino-IRremote>
15. Monk, S. (2019). Programming Arduino: Getting started with sketches (2nd ed.).  
McGraw-Hill Education.
16. Tutorial Arduino y control remoto Infrarrojo. (s. f.). Naylamp Mechatronics - Perú.  
[https://naylampmechatronics.com/blog/36\\_tutorial-arduino-y-control-remoto-infrarrojo.html](https://naylampmechatronics.com/blog/36_tutorial-arduino-y-control-remoto-infrarrojo.html)
17. Ijorquera. (2019, mayo 9). XBee-PRO ZB S2C TH | XBee.cl - Comunicación para Tus  
Proyectos. XBee.cl - Comunicación Inalámbrica Para Tus Proyectos.  
<https://xbee.cl/xbee-pro-zb-s2c-th/>
18. MQTT - The Standard for IoT Messaging. (s. f.). <https://mqtt.org/>
19. Node-RED. (s. f.). <https://nodered.org/>
20. Punto Flotante S.A. (2017). HC-SR501 PIR Sensor infrarrojo de movimiento.

