



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE
TELECOMUNICACIONES**

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE
MONITOREO ENERGÉTICO E
HIGROTÉRMICO CON
REGULACIÓN INTELIGENTE DEL
SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA
UN DATACENTER”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de ingeniero en telecomunicaciones

AUTOR: CRISTHIAN ABRAHAN VARGAS RUGEL

TUTOR: ING. JOSÉ RENATO CORDOVA LEÓN, MSC.

Guayaquil - Ecuador

2025

II. Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristhian Abrahan Vargas Rugel con documento de identificación N° 0958570541, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, a los 15 días del mes de agosto del año 2025.

Atentamente,



Cristhian Abrahan Vargas Rugel
0958570541

**III. Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la
Universidad Politécnica Salesiana.**

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.**

Yo, Cristhian Abrahan Vargas Rugel, con C.I. 0958570541, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Científico: “DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO ENERGÉTICO E HIGROTÉRMICO CON REGULACIÓN INTELIGENTE DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA UN DATACENTER”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Institución facultada para ejercer plenamente los derechos concedidos.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, a los 15 días del mes de agosto del año 2025.

Atentamente,



Cristhian Abrahán Vargas Rugel
0958570541

IV. Certificado de dirección del trabajo de titulación.

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

Yo, José Renato Cordova León, con documento de identificación N° 0919123067 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO ENERGÉTICO E HIGROTÉRMICO CON REGULACIÓN INTELIGENTE DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA UN DATACENTER”, realizado por Cristhian Abrahan Vargas Rugel con documento de identificación N° 0958570541, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, a los 15 días del mes de agosto del año 2025.

Atentamente,



José Renato Cordova León
0919123067

V. Dedicatoria

Dedico este artículo a mi familia, quienes han sido mi fuente de fortaleza e inspiración. Estoy profundamente agradecido por la oportunidad de haber recibido una educación en esta universidad y por su constante apoyo a lo largo de este viaje.

Deseo dedicar este logro de manera especial a mi madre, mi padre y mis hermanos, quienes han permanecido a mi lado en todo momento ofreciéndome su apoyo constante. Su cariño sin condiciones ha sido la fuerza que me impulsó a perseverar y a entregar siempre lo mejor de mí. Este trabajo no representa únicamente mi dedicación, sino que también simboliza el reconocimiento a todos los sacrificios que mis padres han realizado por mí. Hoy, con orgullo, puedo decir que lo he alcanzado.

VI. Agradecimiento

Manifiesto mi más sincero agradecimiento a mi familia, cuyo afecto incondicional y respaldo constante han sido pilares esenciales en mi trayectoria académica y en cada etapa de mi vida. Mi gratitud se extiende a todas aquellas personas extraordinarias que me han acompañado en este recorrido, aportando de manera invaluable a mi formación personal y profesional.

Extiendo también mi reconocimiento a mi tutor, cuya orientación ha superado los límites de la elaboración de este trabajo de titulación. Su labor como mentor ha sido decisiva, brindándome apoyo tanto en el ámbito académico como en mi desarrollo integral.

Doy gracias a Dios por permitirme culminar una etapa más de gran importancia en mi vida, por otorgarme la fortaleza y la claridad necesarias para seguir adelante, y por bendecirme con unos padres y hermanos excepcionales. Mi familia, siempre atenta, con sus consejos y palabras de aliento, ha sido clave para que este objetivo se hiciera realidad.

VII. Resumen

El presente prototipo tiene como finalidad monitorear, alertar y almacenar los datos de consumo de corriente, y a su vez la regulación automática de los niveles de temperatura y humedad en caso de que estos superen los niveles sugeridos en un datacenter. Actualmente, una mala gestión de estos parámetros puede derivar en fallas técnicas y daños en los equipos. Por ello se implementó un sistema de alerta de mensajería por la aplicación de Telegram; en el prototipo se utilizó el sensor DHT11, que servirá para medir la humedad y temperatura, y el sensor SCT-013, que servirá para medir el consumo de corriente del prototipo. Estos sensores estarán conectados a un microcontrolador ESP32, el mismo que se encargará de recibir los datos de los sensores, procesarlos y activar automáticamente los ventiladores cuando los valores salgan de los rangos recomendados. Además, envía alertas en tiempo real por Telegram y permite la supervisión remota del datacenter gracias a su conectividad Wi-Fi. Este trabajo fue diseñado y probado en el Curso de Comunicaciones Inalámbricas del edificio E y en el datacenter de Megamaxi Ceibos se realizaron las mediciones. Se utilizaron estos escenarios para simular posibles eventos críticos que podrían presentarse en un datacenter, los cuales tienen el potencial de generar daños en los equipos instalados.

Se concluye que este prototipo presenta una solución eficiente y con gran potencial para prevenir daños en los equipos del datacenter, se utilizaron los valores promedio obtenidos del prototipo en el datacenter de Megamaxi Ceibos, y se los comparó con los valores promedio obtenidos en el mismo escenario, utilizando el higrómetro para obtener los datos de temperatura y humedad, y el multímetro para obtener los datos del consumo de corriente, obteniéndose los siguientes promedios de porcentaje de error: 2.992% temperatura, 2.358% humedad y 1.75% consumo de corriente, considerando que el higrómetro que se está usando tiene un margen de error de $\pm 2\%$ y el multímetro un margen de error de $\pm 0,25\%$ a $\pm 0,5\%$. Esto se llevó a cabo gracias al monitoreo en tiempo real de las condiciones higrotérmicas y del consumo de corriente, permitiendo una supervisión continua y una regulación inteligente del entorno ambiental del datacenter.

i. Palabras claves

1; Microcontrolador ESP32 2; Sensores 3; Temperatura 4; Humedad 5; Monitoreo energético 6; Datacenter.

VIII. Abstract

The present prototype is intended to monitor, alert, and store current consumption data, as well as to automatically regulate temperature and humidity levels in case they exceed the recommended thresholds in a data center. Currently, poor management of these parameters can lead to technical failures and equipment damage. For this reason, a messaging alert system was implemented through the Telegram application. In the prototype, the DHT11 sensor was used to measure humidity and temperature, and the SCT-013 sensor was used to measure the prototype's current consumption. These sensors are connected to an ESP32 microcontroller, which is responsible for receiving the sensor data, processing it, and automatically activating the fans when the values go beyond the recommended ranges. In addition, it sends real-time alerts via Telegram and allows remote monitoring of the data center thanks to its Wi-Fi connectivity.

This work was designed and tested in the Wireless Communications Course at Building E, and measurements were carried out in the Megamaxi Ceibos data center. These scenarios were used to simulate possible critical events that could occur in a data center, which have the potential to cause damage to the installed equipment.

It is concluded that this prototype provides an efficient solution with great potential to prevent damage to data center equipment. The average values obtained from the prototype in the Megamaxi Ceibos data center were compared with the average values obtained in the same scenario using a hygrometer to measure temperature and humidity, and a multimeter to measure current consumption. The following average error percentages were obtained: 2.992% for temperature, 2.358% for humidity, and 1.75% for current consumption, considering that the hygrometer used has an error margin of $\pm 2\%$ and the multimeter an error margin of $\pm 0.25\%$ to $\pm 0.5\%$.

This was achieved thanks to real-time monitoring of hygrothermal conditions and current consumption, enabling continuous supervision and intelligent regulation of the environmental conditions in the data center.

i. Keywords

1; ESP32 Microcontroller 2; Sensors 3; Temperature 4; Humidity 5; Energy Monitoring 6; Data Center.

IX. Índice de contenido

I. Portada	1
II. Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	2
III. Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana.	3
IV. Certificado de dirección del trabajo de titulación.	4
V. Dedicatoria	5
VI. Agradecimiento	5
VII. Resumen	6
i. Palabras claves	6
VIII. Abstract	7
i. Keywords	7
IX. Índice de contenido	8
X. Introducción	11
a. Microcontrolador ESP32	13
b. RELÉ(RELAY)	16
c. Sensor DHT11	18
d. Sensor de corriente SCT-013-030	19
e. Node-Red	20
f. Node.js	21
g. PlatformIO	21
h. InfluxDB	22
i. Grafana	23
j. MQTT	24
k. Fuente de poder de 5v.	24
l. Higrómetro	25
m. Multímetro	26
n. Telegram	27
o. Visual studio	28
p. Ecuaciones empleadas	29
i. Media aritmética	29
ii. Porcentaje de error	29
XI. Artículos relacionados.	30
XII. Metodología	35

a. Esquema para el desarrollo de un sistema de monitoreo energético e higrotérmico con regulación inteligente del sistema de ventilación para un datacenter.	35
b. Conexión de los equipos	38
c. Simulación y desarrollo del dispositivo	41
d. Datos obtenidos.	47
• Datos obtenidos del curso de comunicaciones inalámbricas por una hora.	47
i. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.	47
ii. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.	49
iii. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.	50
iv. Toma de pruebas de la humedad del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.	52
v. Toma de pruebas de la humedad del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.	53
vi. Toma de pruebas de la humedad del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.	55
vii. Toma de pruebas del consumo de corriente del prototipo, utilizando el sensor SCT-013-030 del prototipo y también el multímetro, realizada en el aula de Comunicaciones Inalámbricas.	56
• Datos obtenidos en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	58
i. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	58
ii. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	59
iii. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	61
iv. Toma de pruebas de la humedad del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	62
v. Toma de pruebas de la humedad del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	64
vi. Toma de pruebas de la humedad del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	65
vii. Toma de pruebas del consumo de corriente del prototipo, utilizando el sensor SCT-013-030 del prototipo y también el multímetro, realizada en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	66
XIII. Interpretación de resultados	68
XIV. Discusión	73

XV. Conclusiones	75
XVI. Recomendaciones	76
XVII. Bibliografía	77
XVIII. Anexo	81
Anexo 1	81
Anexo 2	91
Anexo 3	92
Anexo 4	94
i. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.	94
ii. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.	94
iii. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.	95
iv. Toma de pruebas de la humedad del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.	95
v. Toma de pruebas de la humedad del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.	96
vi. Toma de pruebas de la humedad del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.	96
vii. Toma de pruebas del consumo de corriente del prototipo, utilizando el sensor SCT-013-030 del prototipo y también el multímetro, realizada en el aula de Comunicaciones Inalámbricas.	97
Anexo 5	98
i. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	98
ii. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	98
iii. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	99
iv. Toma de pruebas de la humedad del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	99
v. Toma de pruebas de la humedad del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	100
vi. Toma de pruebas de la humedad del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	100
vii. Toma de pruebas del consumo de corriente del prototipo, utilizando el sensor SCT-013-030 del prototipo y también el multímetro, realizada en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.	101

X. Introducción

El control energético e higrotérmico (temperatura (térmico) y la humedad (higro)) en un datacenter es crucial para garantizar el funcionamiento óptimo y la fiabilidad de los equipos informáticos, si no se lleva un control puede llegar a ser dañino para los equipos. Lo que conlleva a tener resultados energéticos e higrotérmicos inestables, lo cual se evidencia en el sobrecalentamiento de equipos lo que lleva al aumento de fallos y reducción de la vida útil de los componentes electrónicos, como procesadores, discos duros y memoria RAM[1].

En un centro de datos, mantener un entorno ambiental adecuado es crucial para garantizar el funcionamiento estable y la vida útil de los equipos. Si la temperatura sobrepasa los rangos aconsejados, los componentes electrónicos pueden sobrecalentarse, acelerando su deterioro, reduciendo su eficiencia e incluso provocando fallos inesperados en procesadores o placas de circuito. En sentido opuesto, un ambiente demasiado frío puede originar condensación interna, sobre todo ante variaciones térmicas repentinas, aumentando así el riesgo de daños por humedad.

Respecto a la humedad relativa, niveles superiores a los óptimos favorecen la corrosión en pines, conectores y placas, debilitando la fiabilidad de las conexiones eléctricas. Por otro lado, cuando la humedad es demasiado baja, el aire se vuelve propenso a la acumulación de electricidad estática, la cual, al descargarse, puede dañar de manera grave los circuitos más delicados[2].

El suministro eléctrico que llega a un centro de datos constituye un factor clave para su funcionamiento. La presencia de picos de voltaje o sobrecargas puede comprometer el rendimiento de los sistemas de alimentación y almacenamiento, e incluso ocasionar daños que no puedan repararse. Por el contrario, cuando el voltaje desciende por debajo de los niveles adecuados, los equipos no reciben la energía suficiente para operar de forma estable, lo que puede provocar reinicios imprevistos, pérdida de información o interrupciones en los servicios. Tanto las variaciones eléctricas como las térmicas representan una amenaza directa para la continuidad de las operaciones y elevan significativamente la probabilidad de una indisponibilidad crítica[3].

En un centro de datos, resulta fundamental establecer rangos de seguridad que permitan al sistema de monitoreo generar alertas ante situaciones anómalas que puedan comprometer su operatividad. En lo referente al consumo eléctrico, cuando se trabaja con un prototipo que integra componentes como sensores, placas electrónicas o ventiladores, es habitual que el gasto de corriente oscile entre 0.1 y 1.5 amperios. Una medición inferior a 0.05 A podría evidenciar un fallo en la alimentación, mientras que valores por encima de 1.5 A podrían señalar una sobrecarga con potencial de daño. En cualquiera de estos escenarios, la activación

inmediata de una alarma es lo más aconsejable.[4].

Respecto al control térmico, diversas entidades especializadas recomiendan conservar la temperatura operativa en un intervalo comprendido entre 18 °C y 27 °C. Cuando esta baja de 16 °C, existe riesgo de condensación, y si sube más allá de los 30 °C, podría afectar seriamente los equipos, ya que el calor excesivo deteriora el rendimiento y acorta la vida útil de los dispositivos. Por eso, establecer alertas ante estas variaciones es una medida de protección clave[5].

Respecto a la humedad, lo recomendable es que se mantenga entre el 40 % y el 60 %. Si disminuye demasiado, por debajo del 30 %, aumenta el riesgo de descargas eléctricas por estática. Por otro lado, si la humedad supera el 70 %, se vuelve posible la formación de condensación en el interior de los equipos, lo cual podría causar daños por corrosión o cortocircuitos. Estos límites deben ser vigilados constantemente para garantizar la estabilidad del ambiente dentro del datacenter[6].

En la Tabla 1 se muestran los rangos sugeridos que pueden utilizarse como límites de referencia dentro del sistema de monitoreo.

Parámetro	Alarma Baja	Rango Ideal	Alarma Alta
Corriente (A)	< 0.05 A	0.1 – 1.5 A	> 1.5 – 2 A
Temperatura (°C)	< 16°C	18–27°C	>30°C
Humedad (%)	< 30 %	40 – 60 %	>70 %

Tabla 1- Rangos sugeridos dentro del sistema de monitoreo. Fuente: [6].

Según la investigación publicada en Data Centre Magazine enfatiza la importancia del control energético e higrotérmico. El estudio señala que una diferencia de temperatura (delta-T) entre los pasillos fríos y calientes debe ser de aproximadamente 10 a 12°C para maximizar la eficiencia energética y minimizar el uso de ventiladores, ya que puede mejorar significativamente la sostenibilidad y reducir costos operativos[7].

En múltiples entornos industriales y comerciales, los parámetros energéticos y las condiciones higrotérmicas se encuentran entre los aspectos más estrictamente supervisados [8].

Los sensores del Internet de las Cosas (IoT) suelen ser compactos, de alta eficiencia energética y también tienen la capacidad de medir con bajos porcentajes de error[9].

a. Microcontrolador ESP32

El ESP32 es un chip inteligente y muy potente creado por Espressif Systems, que se ha vuelto una herramienta clave en el desarrollo de proyectos relacionados con la electrónica, el Internet de las Cosas (IoT) y sistemas embebidos. Incorpora dos núcleos de procesamiento, conectividad inalámbrica a través de Wi-Fi y Bluetooth, y una gran cantidad de pines digitales para interactuar con sensores, motores y otros dispositivos[10].

Una de sus principales ventajas es que consume poca energía y, aun así, ofrece un rendimiento ágil. Además, es compatible con plataformas de programación como Arduino IDE, PlatformIO y ESP-IDF, lo que facilita su implementación. Por su flexibilidad y capacidad, el ESP32 es ampliamente elegido tanto por desarrolladores aficionados como por profesionales para construir desde prototipos hasta soluciones comerciales con conexión a la red[11].

El ESP32 es un microcontrolador SoC (System on a Chip). Se trata de una evolución mejorada del chip 8266 y se distingue por la introducción de dos núcleos simultáneos. En comparación con su predecesor, el ESP32 amplía el número de pines GPIO de 17 a 36, el número de canales PWM a 16 y está equipado con 4 MB de memoria flash[10].

El microcontrolador ESP32 ofrece funcionalidad Wi-Fi y Bluetooth, además de comunicación Bluetooth Low Energy (BLE). Cuenta con temporizadores independientes, convertidores analógicos a digital (ADC) y digital a analógico (DAC), sensores táctiles capacitivos y un sensor de efecto Hall. Este microcontrolador tiene dos núcleos de 240 MHz, cada uno con un microprocesador Tensilica Xtensa LX6 de 32 bits. El ESP32 está disponible en varios formatos, que incluyen desde placas de desarrollo hasta relojes integrados con pantalla táctil y GPS[12].

El ESP32, desarrollado por Espressif Systems, es un microcontrolador potente con un procesador dual-core Tensilica Xtensa LX6 que opera hasta a 240 MHz. Ofrece conectividad Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth 4.2/BLE, lo que lo hace ideal para aplicaciones IoT y domótica. Dispone de 520 KB de SRAM y típicamente 4 MB de memoria flash. Cuenta con numerosos GPIOs que soportan funciones como PWM, ADC, DAC, I2C, SPI y UART, además de sensores integrados como el de Hall y temperatura. Su capacidad de bajo consumo de energía lo hace adecuado para dispositivos alimentados por batería. El ESP32 se puede programar utilizando varias plataformas como Arduino IDE, ESP-IDF, MicroPython y PlatformIO. Es utilizado comúnmente en monitoreo ambiental, proyectos de robótica y dispositivos portátiles. Además, ofrece características de seguridad avanzadas como criptografía, almacenamiento y arranque seguro, lo que asegura la protección de datos en aplicaciones críticas[13]. En la Figura 1 se muestra el microcontrolador Esp32.

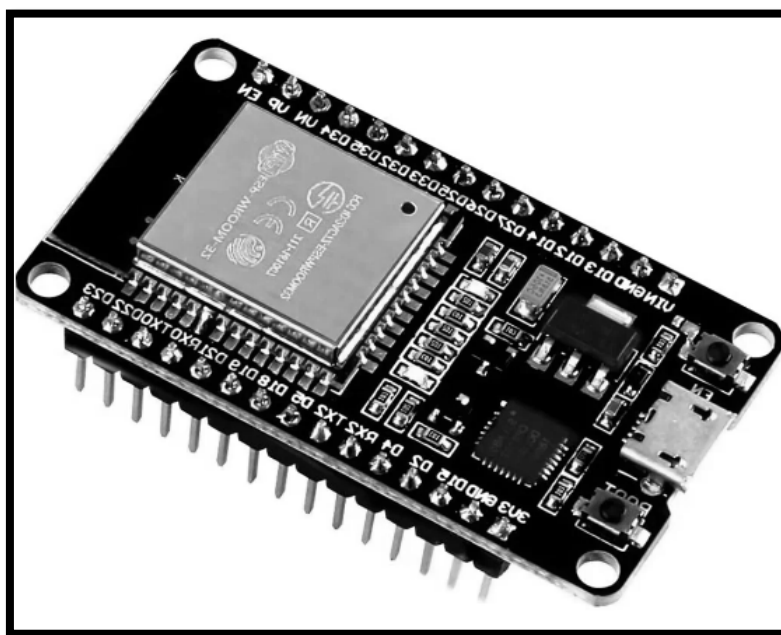


Figura 1 Microcontrolador ESP32. Fuente:[14]

El chip ESP32 desarrollado por Espressif Systems está disponible en varias versiones, como ESP32 Developer Kit, ESP32 Wrover Kit (incluye tarjeta SD y pantalla LCD de 3,2 pulgadas) y ESP32 Azure IoT Kit con puente USB y sensor integrado. Además de Espressif Systems, otros fabricantes como SparkFun (ESP32 Thing DB), WeMoS (TTGO, D1, Lolin32, Lolin D32), Adafruit (Huzzah32), DF Robot (ESP32 FireBeetle), etc. también fabrican estos chips y, en ocasiones, ofrecen buenos clones. o mala calidad[15].

La versión de 30 pines del ESP32-WROOM-32 se presenta como una plataforma de desarrollo de tamaño reducido, construida alrededor del potente microcontrolador ESP32. A pesar de su diseño compacto, conserva prácticamente todas las funcionalidades esenciales del chip original, integrando conectividad inalámbrica mediante Wi-Fi y Bluetooth, así como diversas interfaces de entrada/salida tanto analógicas como digitales[16].

Cuenta con un total de 30 pines numerados, estas son algunas de las características:

- Tiene 12 canales ADC (Analog to Digital Converter), GPIOs 32-39, 25-27, 12-15 y 0-1, con una resolución de 12 bits.
- Tiene 2 canales DAC (Digital to Analog Converter), GPIO 25 y GPIO 26, con una resolución de 8 bits.
- Tiene 10 canales táctiles (Sensor Táctil), GPIOs 0, 2, 4, 12-15, 27, 32, 33.
- Tiene 16 canales PWM configurables en cualquier GPIO.
- Cuenta con 3 UARTs:
UART0: GPIO 1 (TX) y GPIO 3 (RX)

UART1: GPIO 9 (TX) y GPIO 10 (RX)

UART2: Configurable en cualquier GPIO

- Cuenta con 2 buses SPI (Serial Peripheral Interface):
SPI0/SPI1: Utilizado internamente para la memoria flash
HSPI/VSPI: Configurable en cualquier GPIO
- Tiene 2 buses I2C (Inter-Integrated Circuit):
I2C0 y I2C1: Configurable en cualquier GPIO
- Tiene 2 buses I2S que son configurables en cualquier GPIO.
- Pines de reloj: GPIO 0 (CLK_OUT1), GPIO 1 (CLK_OUT2), GPIO 3 (CLK_OUT3).
- Pines de energía: 3V3, GND.
- Pines especiales:
EN (Enable): Para reiniciar el chip.
IO0, IO2, IO12-15, IO27, IO32-33: Usados en el arranque y modo de programación.
- GPIO 0, 2, 4, 5, 12-15, 25-27, 32-39 son pines multifunción y algunos tienen funciones especiales durante el arranque del ESP32.
- GPIO 6-11 no están disponibles para el usuario ya que están reservados para la memoria flash interna[17].

Como se muestra en la Figura 2, está el esquema de GPIO del microcontrolador ESP32.

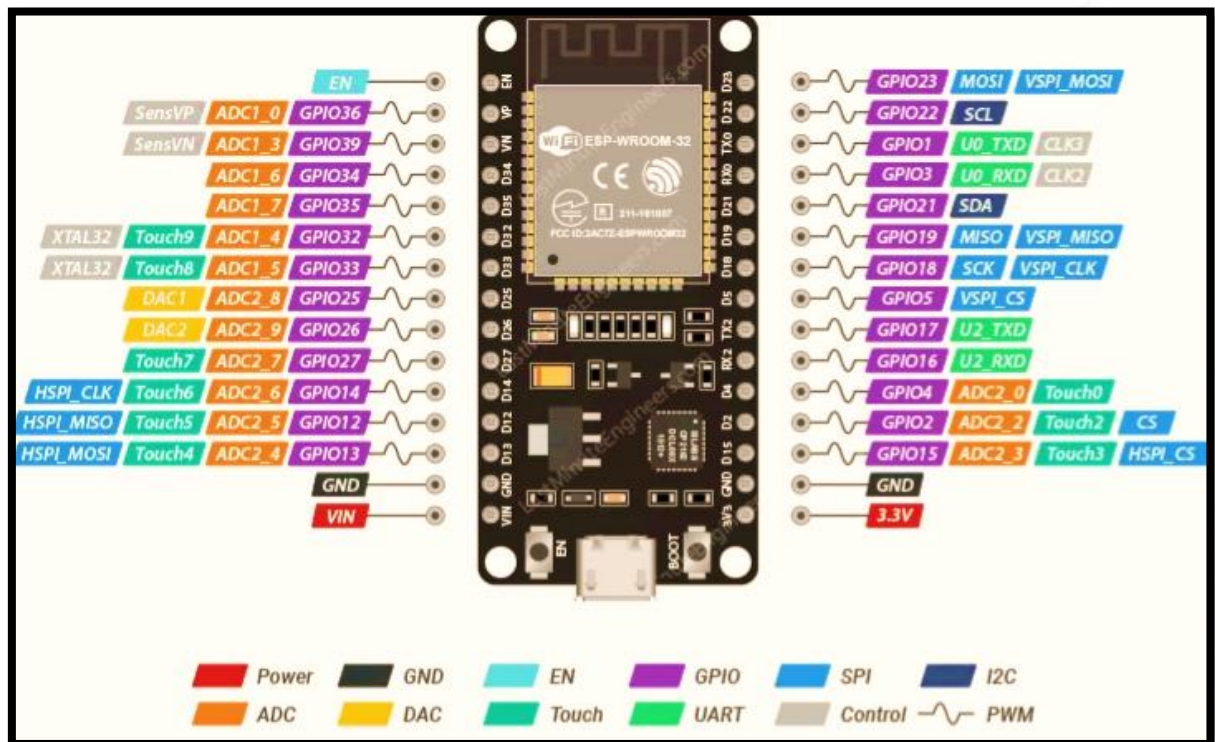


Figura 2 Esquema de GPIO del Microcontrolador ESP32. Fuente:[17].

Es necesario identificar de manera específica los pines del microcontrolador asignándoles números particulares y determinando su denominación y clasificación correspondiente. Se menciona que algunos de estos pines están destinados a proporcionar voltaje y tienen un uso general, mientras que otros permanecen inactivos. Luego, para usar el ESP32, primero instala el IDE de Arduino y añade el soporte para ESP32. Conecta el ESP32 a tu computadora vía USB, selecciona la placa y el puerto en el IDE. Escribe y sube un código básico, como encender un LED usando pinMode y digitalWrite. Para leer sensores, usa digitalRead en los pines de entrada. Para conectividad Wi-Fi, configura las credenciales en el código y usa la biblioteca Wi-Fi para conectarte a la red y obtener la dirección IP[18].

b. RELÉ(RELAY)

Un relé es un dispositivo eléctrico que actúa como un interruptor que abre o cierra electromecánicamente un circuito para controlar el flujo de electricidad. Funciona con la ayuda de un electroimán, por lo que también se le llama relé o relé electromagnético[19]. Se utilizan para alimentar circuitos de alta potencia mediante circuitos de baja potencia (12 o 24 voltios), magnetizando así las bobinas.



Figura 3 Relé (Relay) de 5 voltios. Fuente: [20].

Por ejemplo, como se observa en la Figura 3, si queremos una puerta de garaje o entrada eléctrica, necesitamos un mando a distancia que active una pequeña carga de corriente a través del receptor, activando así el relé: la bobina quedará magnetizada y cerca de la alimentación

de corriente al circuito. También se pueden utilizar en máquinas y motores, sistemas de iluminación, etc. para empezar[21].

Un relé de 5 voltios es un dispositivo electromecánico que emplea una pequeña corriente eléctrica para manejar una carga de mayor potencia. Opera mediante un electroimán que, al recibir corriente, genera un campo magnético que desplaza un interruptor para abrir o cerrar un circuito. Este tipo de relé opera mediante una señal de 5 V, normalmente generada por microcontroladores como Arduino o Raspberry Pi. Dispone de contactos en configuración normalmente abierta (NO) y normalmente cerrada (NC), lo que posibilita distintas formas de conexión en los circuitos. Se aplica en proyectos de automatización, control de motores, sistemas de iluminación y dispositivos de seguridad. Una de sus ventajas es que aísla eléctricamente el circuito de control del de carga, protegiendo así a los componentes más delicados.

Un relé de 5 V es, en esencia, un interruptor electromecánico diseñado para accionar circuitos de mayor potencia a partir de una señal de baja intensidad. Cuando la bobina recibe el voltaje de 5 V, se genera un campo magnético que desplaza el mecanismo interno y permite el paso de corriente en el circuito que se desea controlar. Este tipo de relés es común en el manejo de motores, lámparas y otros equipos eléctricos, ya que garantiza aislamiento entre el sistema de control y el de alta potencia. En la Figura 4 se muestran sus partes principales[22].

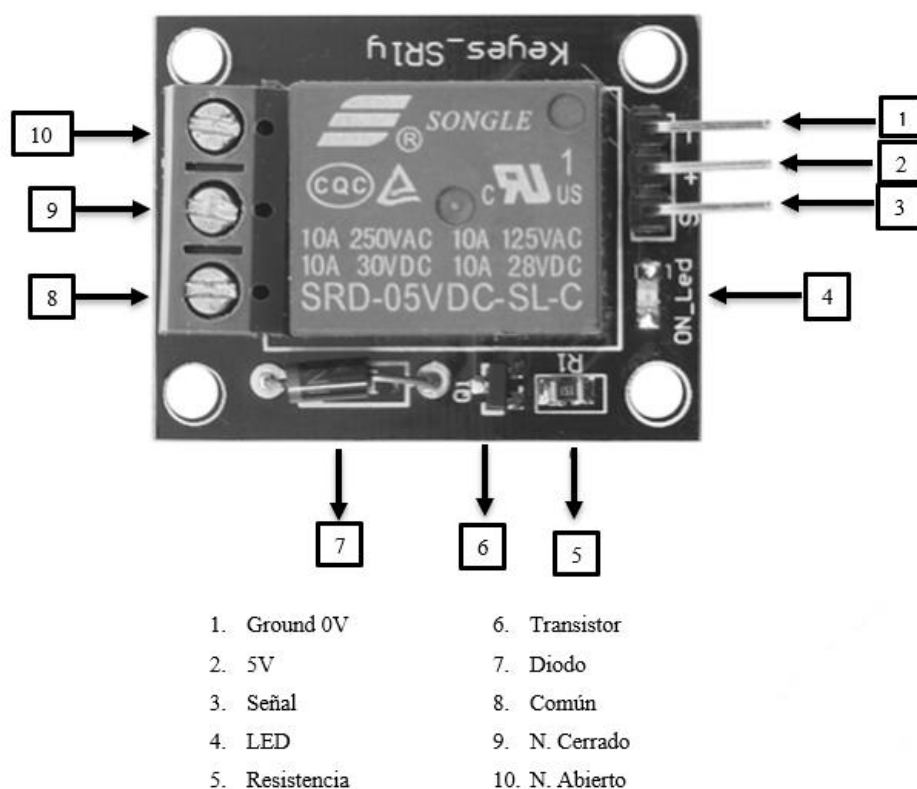


Figura 4 Partes del Relé (Relay) de 5 voltios. Fuente: Autor.

c. Sensor DHT11

El DHT11 es un sensor económico y eficiente, ideal para monitorear tanto la temperatura como la humedad en diversos ambientes. Su operación depende de dos elementos principales: un termistor encargado de captar la temperatura y un sensor capacitivo que mide la humedad ambiental. Esta combinación puede apreciarse claramente en la Figura 5. Toda esta información se transmite mediante una señal digital a través de un único pin, ya que no cuenta con salida analógica. Por su facilidad de uso y bajo costo, es común verlo en proyectos educativos y experimentos relacionados con el control de temperatura, sistemas de climatización, o incluso en el monitoreo de condiciones ambientales en cultivos y otras aplicaciones similares[23].

Integrar el sensor DHT11 con placas como Arduino, Raspberry Pi o NodeMCU es un proceso bastante accesible, tanto en la parte física como en la programación. En el ámbito del software, existen librerías específicas para Arduino que simplifican la lectura de datos usando el protocolo de comunicación tipo "Single bus". En cuanto a la conexión física, basta con unir el pin de alimentación (VCC) a una fuente de 3 a 5 voltios, conectar el pin de tierra (GND) al negativo, y enlazar el pin de datos con una entrada digital del microcontrolador[24].

Cuando se emplean múltiples sensores DHT11 en una misma tarjeta, es fundamental que cada uno disponga de un pin de datos exclusivo. Cabe destacar que este sensor refresca sus mediciones con un intervalo mínimo de dos segundos, lo que podría representar una restricción en aplicaciones que demandan datos en tiempo real de forma continua.[25].

Tal como se observa en la Figura 5, cada sensor se entrega calibrado de fábrica, con los parámetros de ajuste almacenados en su memoria interna, lo que asegura que las lecturas se mantengan precisas y consistentes con el tiempo. La comunicación entre el sensor y el controlador se realiza mediante un único cable, por lo que se aconseja que este no exceda los 20 metros de longitud y, preferiblemente, esté protegido con un apantallamiento para minimizar interferencias. También es recomendable ubicar el sensor fuera de la luz solar directa para evitar daños causados por la radiación ultravioleta.[26].

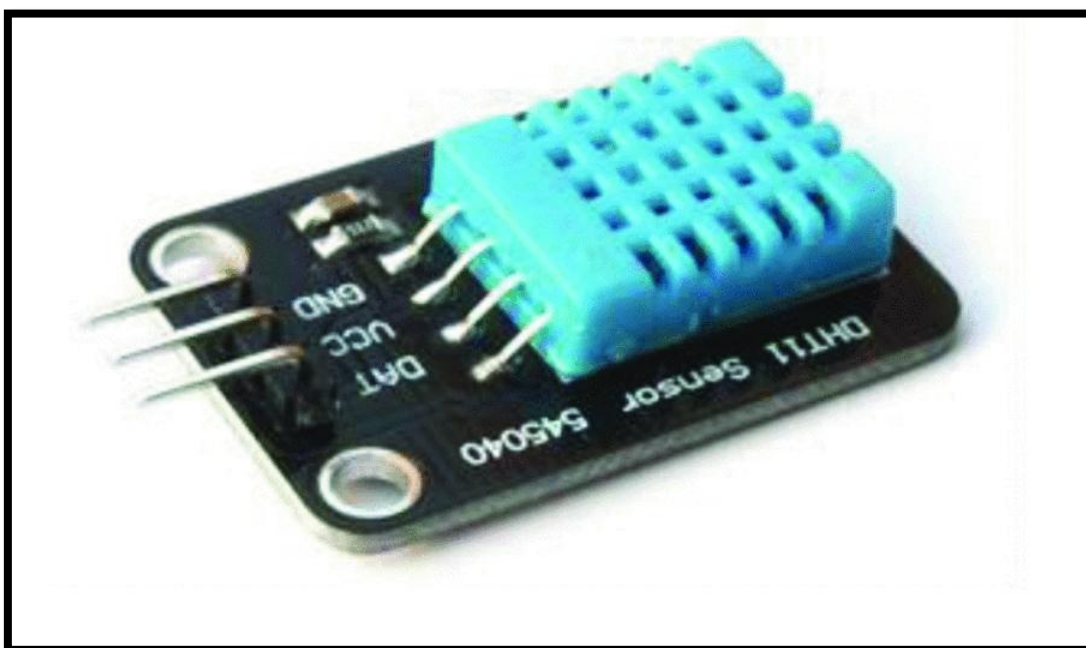


Figura 5 Módulo de detección de temperatura y humedad (DHT11). Fuente: [27].

El sensor DHT11 es ampliamente utilizado debido a su buena precisión, facilidad de uso y costo accesible, lo cual lo hace ideal para aplicaciones en sistemas de monitoreo ambiental.

Algunas de las características más importantes son:

- **Rango de medición de temperatura:** -40 a 80 °C.
- **Precisión de temperatura:** ± 0.5 °C.
- **Rango de medición de humedad:** 0 a 100 % RH (humedad relativa).
- **Precisión de humedad:** $\pm 2-5$ % RH.
- **Resolución:** 0.1 °C para temperatura y 0.1 % RH para humedad.
- **Frecuencia de muestreo:** Una lectura cada 2 segundos.
- **Voltaje de operación:** 3.3V a 6V.
- **Corriente de operación:** 1.5 mA (máximo durante la conversión de datos).
- **Tamaño:** Aproximadamente 15.1mm x 25mm x 7.7mm.
- **Interfaz:** Comunicación digital a través de un solo pin de datos[28].

d. Sensor de corriente SCT-013-030

El sensor de corriente SCT-013-030 como se observa en la Figura 6, es un sensor diseñado para medir corriente alterna de hasta 30 amperios sin requerir corte de cables ni modificaciones en la instalación eléctrica. Su diseño tipo pinza, con un núcleo que se abre, facilita su colocación alrededor de cables ya instalados. Este dispositivo convierte la corriente detectada en una señal de voltaje que puede alcanzar hasta 1 voltio RMS, haciéndolo compatible con

plataformas como Arduino, ESP32 o Raspberry Pi mediante un circuito sencillo de adaptación. Resulta ideal para supervisar el consumo eléctrico en hogares, oficinas o entornos industriales, funcionando eficientemente en un rango de frecuencias de 50 Hz a 1 kHz[29].



Figura 6-Sensor de corriente SCT-013. Fuente: [30].

En su interior, el sensor incorpora una resistencia de carga cercana a los 62 ohmios, y su salida está totalmente aislada del circuito principal, lo que aumenta la seguridad durante su uso. Para una correcta lectura digital de la señal, comúnmente se emplea una referencia de voltaje de 2.5 V. Este dispositivo resulta muy útil para monitorear el consumo energético, anticipar sobrecargas y detectar posibles anomalías en el uso de corriente. En definitiva, el SCT-013-030 representa una opción práctica y segura para medir corriente alterna en diversas aplicaciones sin necesidad de modificar la instalación eléctrica existente.[29].

e. Node-Red

Como se muestra en la Figura 7, Node-RED es una plataforma basada en una interfaz gráfica que facilita la creación de flujos lógicos para interconectar diversos dispositivos, servicios y APIs de forma sencilla y visual. Creada inicialmente por IBM, esta herramienta ha ganado amplia aceptación, especialmente en proyectos vinculados al Internet de las Cosas (IoT), automatización doméstica, supervisión de sistemas industriales y desarrollo ágil de prototipos tecnológicos.[31].



Figura 7-Node-Red. Fuente:[31]

f. Node.js

Tal como se muestra en la Figura 8, Node.js es un entorno que permite ejecutar código JavaScript de manera directa en el servidor, sin depender de un navegador web, específicamente en el entorno del servidor. A diferencia del uso tradicional de JavaScript en páginas web, con Node.js este lenguaje se aprovecha para desarrollar soluciones como servidores web, interfaces de programación de aplicaciones (APIs), herramientas de comunicación entre dispositivos y sistemas que requieren respuesta en tiempo real, entre muchas otras aplicaciones del lado del servidor[32].



Figura 8-Node.js. Fuente:[32]

g. PlatformIO

Como se aprecia en la Figura 9, PlatformIO es un entorno de desarrollo que integra un sistema avanzado de programación junto con herramientas de compilación, creado para facilitar el manejo de microcontroladores y placas electrónicas tales como ESP32, ESP8266, Arduino y STM32. Está orientada a quienes crean proyectos de electrónica o sistemas embebidos, y ofrece una forma más organizada y profesional de programar dispositivos, superando en

funcionalidad al tradicional entorno de desarrollo de Arduino[33].

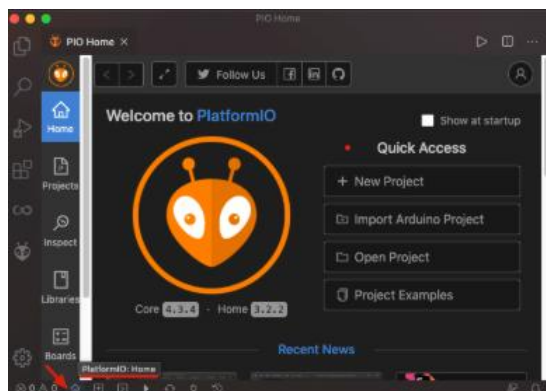


Figura 9-PlatformIO. Fuente:[33]

h. InfluxDB

InfluxDB como se observa en la Figura 10, es un sistema de almacenamiento de datos creado especialmente para trabajar con información que varía a través del tiempo. Este tipo de modelo de base de datos está diseñado para gestionar y examinar información que se produce de manera ininterrumpida, como las mediciones de sensores, indicadores de rendimiento o eventos registrados periódicamente, convirtiéndose en una solución altamente eficiente para proyectos con datos en constante actualización[34].

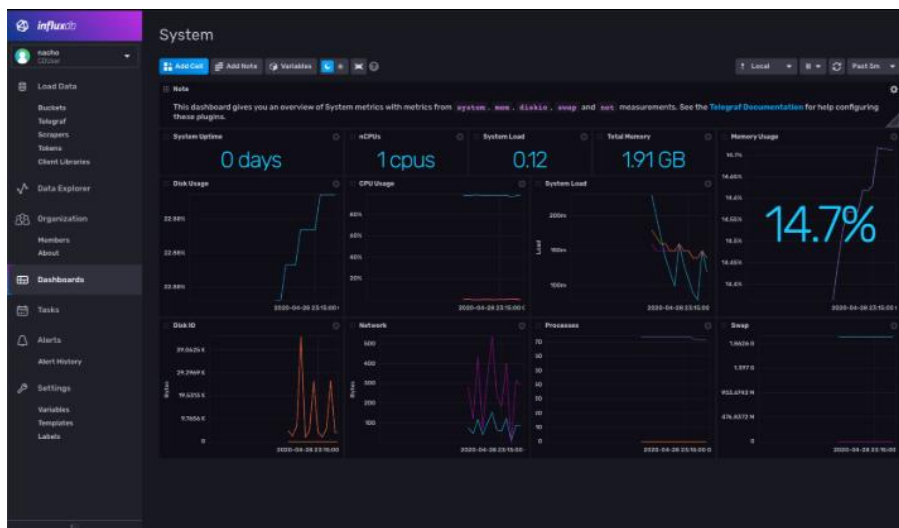


Figura 10-InfluxDB. Fuente:[34]

i. Grafana

Como se aprecia en la Figura 11, Grafana es una plataforma creada para convertir datos en visualizaciones dinámicas y fáciles de interpretar. Facilita la elaboración de paneles interactivos que muestran información en tiempo real provenientes de múltiples orígenes, lo que simplifica el monitoreo y análisis de sistemas, sensores, servidores, bases de datos, entre otros. Su habilidad para presentar datos complejos de forma accesible la hace altamente apreciada en diversos ámbitos, tales como:

- Proyectos de Internet de las Cosas (IoT)
- Gestión y monitoreo de servidores y servicios (DevOps)
- Infraestructura de centros de datos
- Ámbitos como la energía, la industria, la salud
- Aplicaciones de automatización del hogar (domótica)

Debido a su adaptabilidad y capacidad para mostrar datos en tiempo real, Grafana es ampliamente utilizada por expertos técnicos y empresas que requieren visualizar y analizar grandes cantidades de información de manera sencilla[35].



Figura 11-Grafana. Fuente:[35]

j. MQTT

MQTT como se observa en la Figura 12, abreviatura de *Message Queuing Telemetry Transport*, es un protocolo de comunicación diseñado para ser liviano y ágil. Gracias a estas características, resulta especialmente útil en entornos donde múltiples dispositivos están conectados y necesitan intercambiar información de manera constante, como ocurre en los sistemas de Internet de las Cosas (IoT). Su estructura permite transmitir datos de forma rápida y eficiente, incluso en redes con ancho de banda limitado o conexiones poco estables[36].

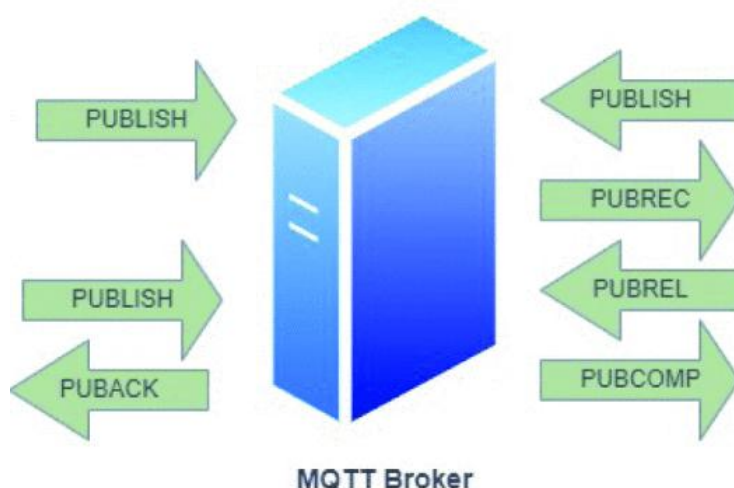


Figura 12-MQTT Broker. Fuente: [36]

k. Fuente de poder de 5v.

Una fuente de alimentación de 5 voltios se encarga de entregar un voltaje fijo de ese valor a diferentes aparatos o circuitos electrónicos. Es muy utilizada en sistemas con microcontroladores, módulos USB, sensores y equipos similares. Puede funcionar bajo dos principios: el modo conmutado, que es más eficiente y compacto, o el modo lineal, que genera menos interferencias. Su función principal es transformar una tensión superior, como 12V o incluso corriente alterna, en una salida estable de 5V. Para lograrlo, integra mecanismos de regulación que aseguran un voltaje constante pese a cambios en la carga o en la fuente de entrada. Su capacidad de entrega de corriente varía dependiendo del diseño, desde unos cuantos miliamperios hasta varios amperios. Este tipo de fuente protege a los dispositivos sensibles de daños por inestabilidad eléctrica. Además, suelen contar con sistemas de seguridad como protección contra sobrecarga, cortocircuitos o excesiva temperatura. Son fundamentales en el funcionamiento confiable de la mayoría de los sistemas electrónicos actuales[37]. Este dispositivo se muestra en la Figura 13.



Figura 13-Fuente de poder 5v. Fuente:[37]

I. Higrómetro

En la Figura 14 se observa el Higrómetro, dispositivo que se utilizará como equipo de referencia para determinar los niveles de error presentes en el prototipo propuesto. Su diseño permite medir con precisión la temperatura y la humedad, tanto en espacios interiores como exteriores, y presenta un margen de error de $\pm 2\%$, característica que lo convierte en una herramienta idónea para realizar comparaciones confiables, ayudando a mantener condiciones óptimas en espacios sensibles como despensas, armarios o salas con equipos electrónicos. Su diseño incluye dos sensores: uno integrado para medir el ambiente interno y otro externo con un cable de 2 metros para captar las condiciones fuera del equipo. Gracias a su pantalla clara, puedes consultar fácilmente los niveles actuales de temperatura y humedad, cambiar entre grados Celsius y Fahrenheit, y revisar los valores máximos y mínimos registrados en el día. Además, cuenta con una función de alarma configurable que te avisa cuando se sobrepasan los límites establecidos, así como con un reloj con despertador, lo que lo convierte en una herramienta práctica y versátil para proteger tanto tus objetos como el bienestar del entorno[38].



Figura 14-Higrometro. Fuente:[38]

m. Multímetro

El multímetro que se muestra en la Figura 15, servirá como estándar para evaluar el margen de error del prototipo planteado. Este dispositivo servirá para registrar con exactitud las variaciones de consumo de corriente, contando con un margen de error de $\pm 0,25\%$ a $\pm 0,5\%$, característica que lo convierte en una herramienta idónea para realizar comparaciones confiables, es una herramienta clave para trabajar con electricidad y electrónica, ya que permite medir distintos valores como voltaje, corriente y resistencia. Dependiendo del modelo, también puede analizar continuidad, frecuencia, capacitancia e incluso temperatura. Hay versiones analógicas, que usan una aguja, y digitales, que muestran las lecturas en una pantalla; estas últimas son las más utilizadas por su precisión y facilidad de lectura. Su uso es común en todo tipo de entornos, desde el hogar hasta laboratorios o entornos industriales. Viene equipado con dos puntas (una roja y una negra) y un selector para elegir la función que se necesita. Es muy útil para revisar fallas, comprobar el estado de baterías o componentes, y hacer mantenimientos. Por su diseño compacto, se adapta tanto a profesionales como a quienes están aprendiendo. Algunos modelos modernos incluyen funciones automáticas e incluso conexión inalámbrica para facilitar aún más su uso[39].



Figura 15-Multímetro. Fuente:[39]

n. Telegram

Telegram es una herramienta de comunicación que se ha popularizado por su rapidez, su enfoque en la privacidad y su capacidad para operar de forma segura. Ofrece funciones como el envío de mensajes escritos, archivos de todo tipo, grabaciones de voz y videollamadas. Entre sus características más destacadas se encuentran los canales de difusión, los grupos masivos de usuarios y la integración con bots automatizados, los cuales pueden ser vinculados a plataformas como Node-RED, ESP32 o Arduino para emitir notificaciones automáticas. Su compatibilidad con múltiples sistemas operativos —incluyendo dispositivos móviles, de escritorio y navegadores web— la hace muy accesible. A diferencia de otras plataformas, Telegram ofrece almacenamiento en la nube sin restricciones visibles en cuanto a tamaño de los mensajes. Además, cuenta con funciones adicionales como encuestas, mensajes programados, reacciones y más. Su interfaz abierta ha favorecido su adopción en proyectos tecnológicos, especialmente en contextos de Internet de las Cosas (IoT) y supervisión remota, donde se requiere enviar información en tiempo real[40]. En la Figura 16 se muestra el logotipo de la aplicación.

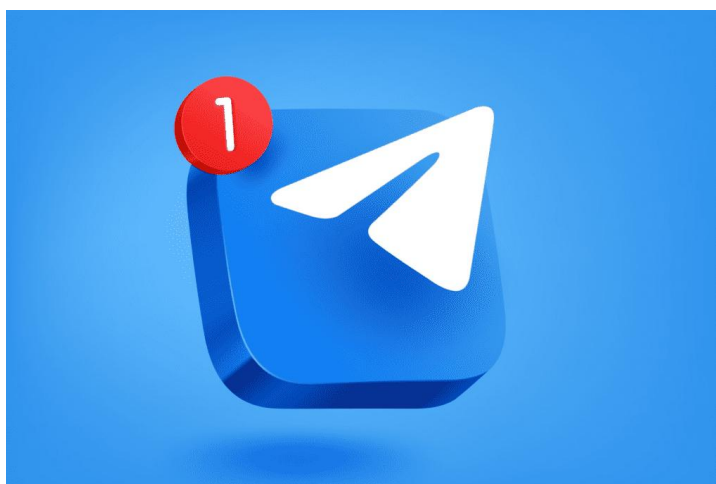


Figura 16-Telegram. Fuente:[40]

o. Visual studio

Visual Studio Code tal como se observa en la Figura 17 , es una herramienta muy completa para el desarrollo de proyectos con microcontroladores como el ESP32. Esta extensión se instala directamente desde el entorno y brinda un conjunto de funciones que facilitan la creación y organización de proyectos compatibles con diversas placas electrónicas. Al generar un nuevo proyecto, se obtiene una estructura ordenada que incluye carpetas específicas para el código, las bibliotecas y los ajustes de compilación. El archivo central donde se programa es generalmente main.cpp, y tanto la carga del firmware como su verificación pueden hacerse con solo pulsar un botón. También se dispone de un monitor serial que permite observar los datos emitidos por el microcontrolador en tiempo real. Esta plataforma resulta especialmente útil en proyectos que requieren el uso de sensores, comunicación por WiFi o el protocolo MQTT, como sistemas de monitoreo ambiental. En comparación con entornos más básicos, ofrece un nivel superior de organización, eficiencia y escalabilidad, ideal para desarrollos profesionales en el ámbito de los sistemas embebidos[41].



VISUAL STUDIO CODE

Figura 17-Visual Studio Code. Fuente:[41]

p. Ecuaciones empleadas

i. Media aritmética

La media aritmética es una herramienta estadística empleada para determinar un valor representativo dentro de un conjunto de datos. Su cálculo consiste en sumar todos los datos obtenidos y dividir el total entre la cantidad de elementos que lo componen.

Esta medida, comúnmente simbolizada como $\bar{X}$, permite identificar tendencias centrales en distintas áreas de estudio. Se utiliza para resumir información cuantitativa y facilitar el análisis de comportamientos o patrones.

En entornos técnicos, como un centro de datos, permite conocer el valor medio de variables como la temperatura o el consumo eléctrico[42].

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n} \quad (1)$$

Donde:

$\bar{X}$: media aritmética

n : número de datos

$\sum$: sumatoria

ii. Porcentaje de error

El porcentaje de error representa una forma de determinar qué tan cercana está una medición respecto a un valor considerado como referencia o verdadero. Esta herramienta es clave para analizar la precisión de los instrumentos de medición y de los resultados obtenidos en experimentos. Su utilidad radica en mostrar qué tanto se aleja un resultado del valor esperado. Cuanto menor es este porcentaje, mayor es la exactitud alcanzada. Es un concepto comúnmente aplicado en áreas como la física, la química y la electrónica. Sirve para detectar posibles errores en equipos o procedimientos, y también para respaldar o cuestionar hipótesis en pruebas experimentales. Para que su cálculo sea válido, es esencial contar con un valor de referencia confiable. Puede expresarse en términos absolutos o relativos, según el enfoque del análisis[43]. La fórmula del porcentaje de error entre un valor medido y un valor real es:

$$Error = \left| \frac{V_{medido} - V_{real}}{V_{real}} \right| \times 100\% \quad (2)$$

Donde:

V_{medido} : *media aritmética*

V_{real} : *sumatoria*

$|\cdot|$: *Indica valor absoluto*

XI. Artículos relacionados.

Los autores del artículo [4] señalan que es esencial tener en cuenta la evaluación de los niveles de temperatura y humedad en el centro de datos. Se menciona que los resultados deben ser registrados y documentados correctamente siguiendo las normas y reglamentos aplicables.

Este estudio fue realizado por expertos capacitados, lo que aporta un enfoque valioso sobre cómo implementar tecnologías avanzadas como la de algoritmos de Machine Learning que sirven para predecir y regular de forma eficiente los requerimientos operativos dentro de un centro de datos.

Las recomendaciones que sugieren son las siguientes:

1. **Instalación de Sensores:** Colocar sensores de temperatura y humedad en diferentes puntos críticos del centro de datos para obtener una visión precisa de las condiciones ambientales.
2. **Monitoreo en Tiempo Real:** Utilizar sistemas de monitoreo en tiempo real para detectar cualquier fluctuación de temperatura y humedad, permitiendo respuestas rápidas a posibles problemas.
3. **Sistemas de Control Inteligente:** Implementar sistemas de control automatizados que ajusten dinámicamente la climatización en función de los datos en tiempo real recogidos por los sensores.
4. **Algoritmos de Machine Learning:** Utilizar algoritmos de machine learning para predecir y ajustar las necesidades de enfriamiento, optimizando el consumo energético y manteniendo condiciones óptimas.
5. **Registro de Datos:** Asegurar que todos los datos de temperatura y humedad sean registrados y documentados adecuadamente.
6. **Análisis de Datos:** Analizar los datos recolectados para identificar patrones y áreas de mejora, utilizando estos hallazgos para optimizar el sistema continuamente.

Los valores de temperatura se midieron simultáneamente en la parte frontal y trasera de cada rack utilizando una placa de desarrollo Raspberry PI. Los resultados obtenidos se almacenaron en un archivo de texto, donde también se detallaba la ubicación de cada sensor en el centro de

datos. En la Figura 18 y la Tabla 2 se tiene un ejemplo de las lecturas de temperatura obtenidos mediante el registro y análisis de datos.

Rack	Posición del Sensor	Temperatura(°C)	Humedad Relativa (%)
1	Frontal	24.5	45
1	Trasera	26.0	50
2	Frontal	23.8	47
2	Trasera	25.5	52
3	Frontal	24.2	46
3	Trasera	26.1	49
4	Frontal	23.9	48
4	Trasera	25.8	51
5	Frontal	24.7	45
5	Trasera	26.3	50

Tabla 2- Ejemplo de lecturas de temperatura y humedad. Fuente:[4].

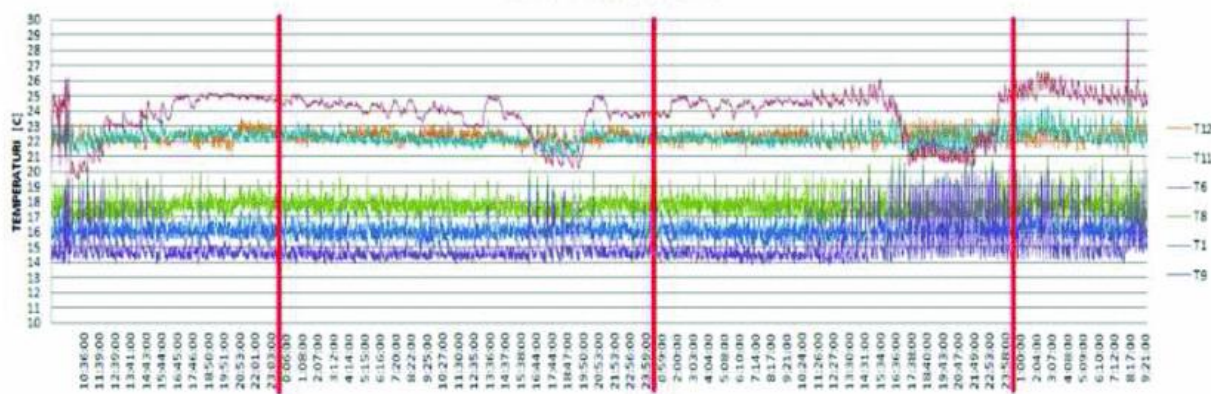


Figura 18- Ejemplo de lecturas de temperatura y humedad. Fuente :[4].

En la Tabla 2 y Figura 18 se reflejan las mediciones de temperatura y humedad relativa en diferentes racks, con los sensores ubicados tanto en la parte frontal como trasera de cada uno. Esto permite un análisis detallado de las condiciones ambientales dentro del centro de datos, facilitando la gestión y optimización del clima interno para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos.

Llegando a la siguiente conclusión:

En conclusión, el artículo subraya la importancia de que expertos evalúen los niveles de temperatura y humedad en centros de datos, registrando y documentando los resultados. Se recomienda instalar sensores en puntos críticos, usar monitoreo en tiempo real y sistemas de

control inteligente para ajustar la climatización según datos en tiempo real. Además, se sugiere emplear algoritmos de machine learning para optimizar el consumo energético y mantener condiciones óptimas. Es crucial registrar adecuadamente los datos de temperatura y humedad y analizarlos para identificar patrones y mejoras. La medición simultánea de temperatura en la parte frontal y trasera de los racks, utilizando Raspberry PI, y el almacenamiento detallado de los resultados en archivos de texto, permite un análisis exhaustivo de las condiciones ambientales, facilitando la gestión y optimización del clima interno para el correcto funcionamiento de los equipos.

Los autores del artículo [44] proponen un sistema que implementa modelos de aprendizaje profundo para anticipar riesgos térmicos en centros de datos, con foco en dependencias espaciotemporales de métricas ambientales. Define anomalías térmicas mediante series temporales de temperatura y energía, y estructura los datos en cuatro dimensiones para preservar información crítica. Se emplea una red convolucional temporal (TCN) con convoluciones 3D, mejorando significativamente frente a métodos de ML tradicionales. El sistema se evaluó en dos escenarios: uno global con $F1 = 0.98$ y otro causal con $F1 = 0.87$. El marco aborda la escasez de datos etiquetados mediante etiquetado automatizado basado en umbrales térmicos. Se integran datos de entrada de nodos sobre temperatura y consumo energético, para clasificar riesgo térmico binario. La arquitectura incluye adquisición (ExaMon), procesamiento, etiquetado y predicción con IA. Los datos y el código se liberaron públicamente, permitiendo replicabilidad. El trabajo subraya que prever riesgos térmicos reduce el daño al hardware y aumenta la disponibilidad operativa. En la Figura 19 se observa el marco para la predicción de riesgos térmicos.

Las recomendaciones que sugieren son las siguientes:

1. **Adoptar estructuras de datos 4D** que preserven las dependencias espaciales y temporales, tal como se demuestra eficaz en HazardNet.
2. **Usar TCNs con convoluciones 3D**, óptimas para captar patrones térmicos complejos en entornos densos.
3. **Establecer un sistema automatizado de etiquetado**, apoyado en umbrales térmicos definidos por sensores de temperatura de entrada.
4. **Dividir los datos en periodos disjuntos causales**, para asegurar que el modelo generalice en condiciones fluctuantes reales.
5. **Liberar datos y código** como buenas prácticas de transparencia científica y reproducibilidad.
6. **Integrar el modelo en una arquitectura modular** (captura → etiquetado → predicción),

como la propuesta mediante ExaMon en HazardNet.

7. **Evaluar desempeño con métricas como F1** en escenarios de prueba global y causal, para medir robustez.
8. **Monitorear temperatura y consumo energético en tiempo real**, y conectar el sistema a un mecanismo de reglaje automático del ventilador.

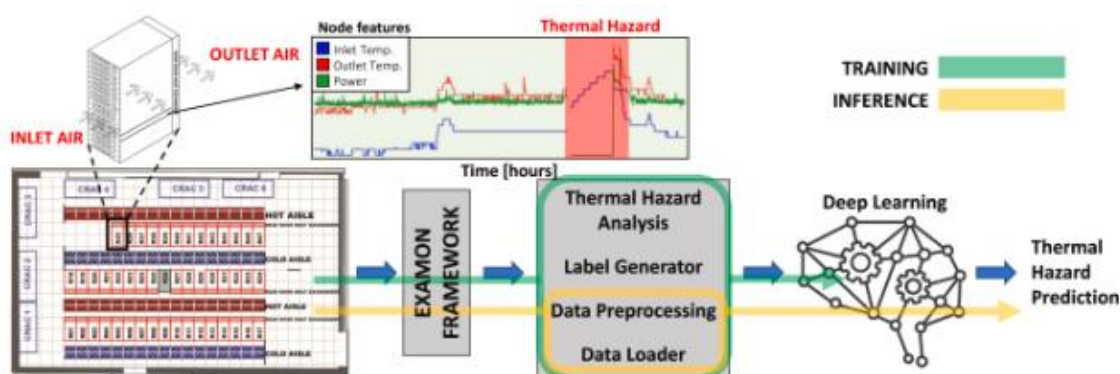


Figura 19 Marco para la predicción de riesgos térmicos. Fuente: [44].

Llegando a la siguiente conclusión:

En conclusión, el artículo [44] presenta una solución clave para optimizar la eficiencia operativa y prevenir fallos críticos. A partir del estudio de *HazardNet*, se concluye que el uso de modelos de aprendizaje profundo, como las redes convolucionales temporales (TCN), permite anticipar de manera precisa los riesgos térmicos. El tratamiento adecuado de datos espaciotemporales, especialmente mediante estructuras 4D, potencia la capacidad predictiva del sistema. Además, la automatización del etiquetado de anomalías reduce la dependencia de procesos manuales y mejora la escalabilidad. Incorporar este tipo de tecnologías permite no solo detectar condiciones de riesgo, sino también activar mecanismos de respuesta, como la regulación inteligente de ventilación. Esto resulta esencial para prolongar la vida útil de los equipos, reducir el consumo energético y garantizar la continuidad del servicio. Finalmente, el uso de datos abiertos y metodologías reproducibles fortalece la validez científica y fomenta la innovación en infraestructura crítica.

El artículo [45] analiza cómo el uso de modelado CFD permite cuantificar los beneficios energéticos de mejorar la gestión térmica en centros de datos mediante la contención de pasillos. Se destaca que operar a temperaturas de hasta 35 °C, aprovechando economizadores, reduce significativamente los costos operativos y las emisiones. El estudio se orienta a

optimizar el costo total de propiedad (TCO), clave en el diseño de centros de datos modernos. A mayor temperatura ambiente, aunque se incrementa la potencia de los servidores, disminuyen los requisitos de enfriamiento, lo que mejora la eficiencia energética global. En promedio, el 40 % del consumo energético total de un centro de datos se destina a refrigeración. La investigación respalda que operar a temperaturas cercanas a los 40 °C es viable si se aplican prácticas como contención de pasillos, paneles de obturación, disposición adecuada del suelo y eliminación de obstrucciones. Estas medidas evitan puntos calientes entre servidores, estabilizan el ambiente térmico y permiten configurar termostatos a valores más altos sin comprometer la seguridad térmica del sistema. Como resultado, se logran importantes reducciones en costos operativos y de infraestructura.

Resultados de su investigación:

El análisis de este artículo proporciona información sobre cómo la potencia del servidor incrementa al operar a temperaturas ambientales más elevadas. Se examinan sistemas de núcleos distribuidos, y se analiza el aumento de potencia del servidor bajo diversas cargas de trabajo, incluyendo SpecInt, SpecPower, Hadoop, Sandra y Prime95. Se observa un incremento en la potencia del servidor que varía entre 0% y 6% al subir la temperatura de 25 °C a 40 °C. En todos los casos, las temperaturas de los componentes permanecieron dentro de los límites especificados; no se detectaron restricciones en la CPU ni en la memoria hasta los 40 °C en los sistemas evaluados[45], los resultados se muestran en la Figura 20.

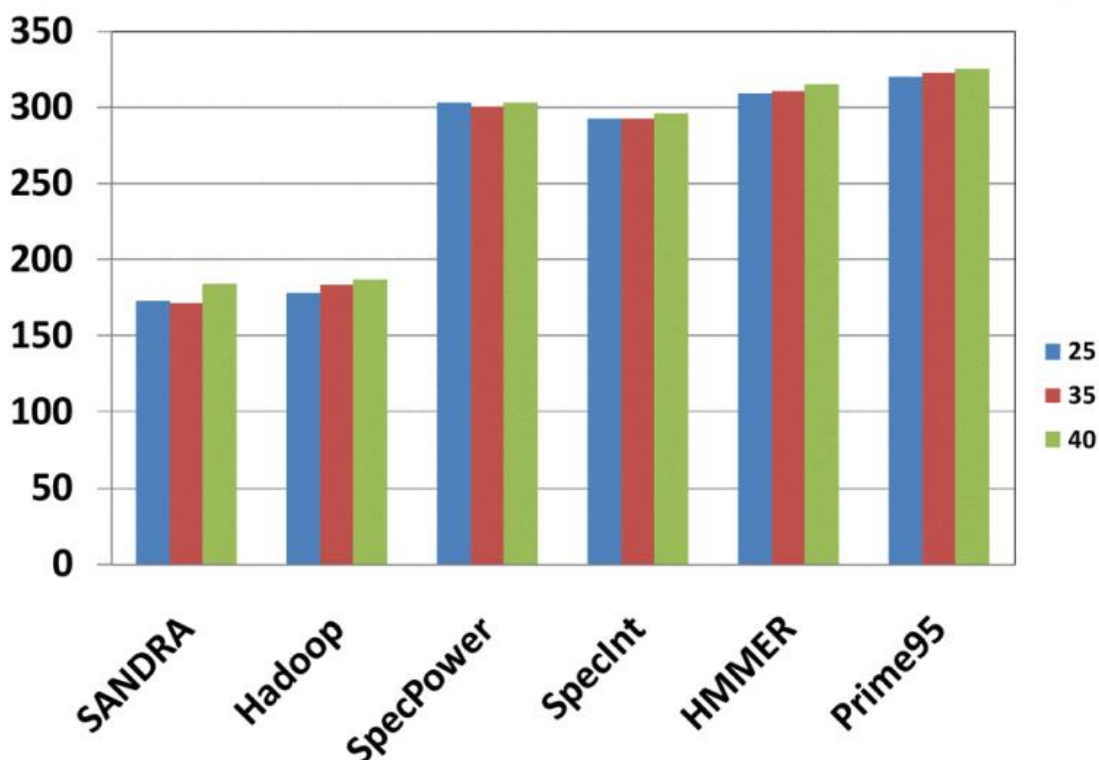


Figura 20 La potencia del servidor aumenta con el aumento de la temperatura ambiente. Fuente:[45].

En la Tabla 3 se demuestra un ejemplo del rendimiento bajo diferentes cargas de trabajo. El desempeño se mantuvo constante y no mostró degradación, permaneciendo dentro de las variaciones observadas entre ejecuciones.

Sistema Ambiente, °C	Hadoop (tiempo de finalización, seg.)	Base de tasa de especificación internacional	Especificación de potencia SSJ_ops	HMNER	DESEMPAQUETADO (GFLOPS)
25	217	185	416.152	153	76
35	217	185	411.438	153	76
40	219	185	411.228	153	76

Tabla 3- Carga de trabajo vs. temperatura ambiente. Fuente:[45].

La conclusión de este estudio es que la potencia del sistema tiende a incrementarse y que la optimización del sistema es crucial para reducir este aumento.

Llegando a la siguiente conclusión:

En conclusión, el estudio demuestra que operar centros de datos a temperaturas ambientales más altas puede generar importantes ahorros de energía y reducir los costos operativos. La implementación de prácticas de gestión de flujo de aire, como la contención de pasillos fríos/calientes y el uso de paneles de obturación, es esencial para manejar las temperaturas elevadas sin comprometer la eficiencia del sistema. El modelado CFD ha mostrado que estas estrategias permiten operar a temperaturas de hasta 35 °C con economizadores, logrando una reducción significativa en el consumo de energía para refrigeración. Al elevar la temperatura ambiente, se disminuyen los costos asociados a la infraestructura de refrigeración, lo que contribuye a una mayor eficiencia y a una reducción en el costo total de propiedad (TCO) del centro de datos[45].

XII. Metodología

a. Esquema para el desarrollo de un sistema de monitoreo energético e higrótico con regulación inteligente del sistema de ventilación para un datacenter.

La presente propuesta adopta una metodología experimental, orientado a un análisis detallado que permita comprender en profundidad el desempeño del prototipo desarrollado. Se realizó un sistema de monitoreo energético e higrótico con regulación inteligente del sistema de ventilación para un datacenter.

El proyecto tiene como finalidad plantear un sistema integral de monitoreo, generación de alertas, almacenamiento de datos de los niveles higróticos y de consumo de corriente, y a

su vez regular de forma automática los niveles de temperatura y humedad mediante un sistema de ventilación.

Por ello se implementó un sistema de alerta de mensajería por la aplicación de Telegram que permitirá avisar cuando los niveles de temperatura, humedad y corriente estén fuera de los rangos recomendados, y a su vez cuando se regulen los niveles.

Esta estrategia metodológica se fundamenta en el uso eficiente de los sensores incorporados, los cuales posibilitan una recolección inmediata y precisa de datos, optimizando al mismo tiempo su capacidad de procesamiento y respuesta dentro del sistema.

En la Figura 21 se muestra el prototipo del tema “Desarrollo de un sistema de monitoreo energético higrotérmico con regulación inteligente del sistema de ventilación para un datacenter” el cual consta de los siguientes componentes:

- A. Sensor DHT11
- B. Microcontrolador ESP32
- C. Protoboard
- D. Relé (Relay)
- E. Sensor de corriente SCT-013
- F. Laptop
- G. Ventilador
- H. Fuente de poder de 5v

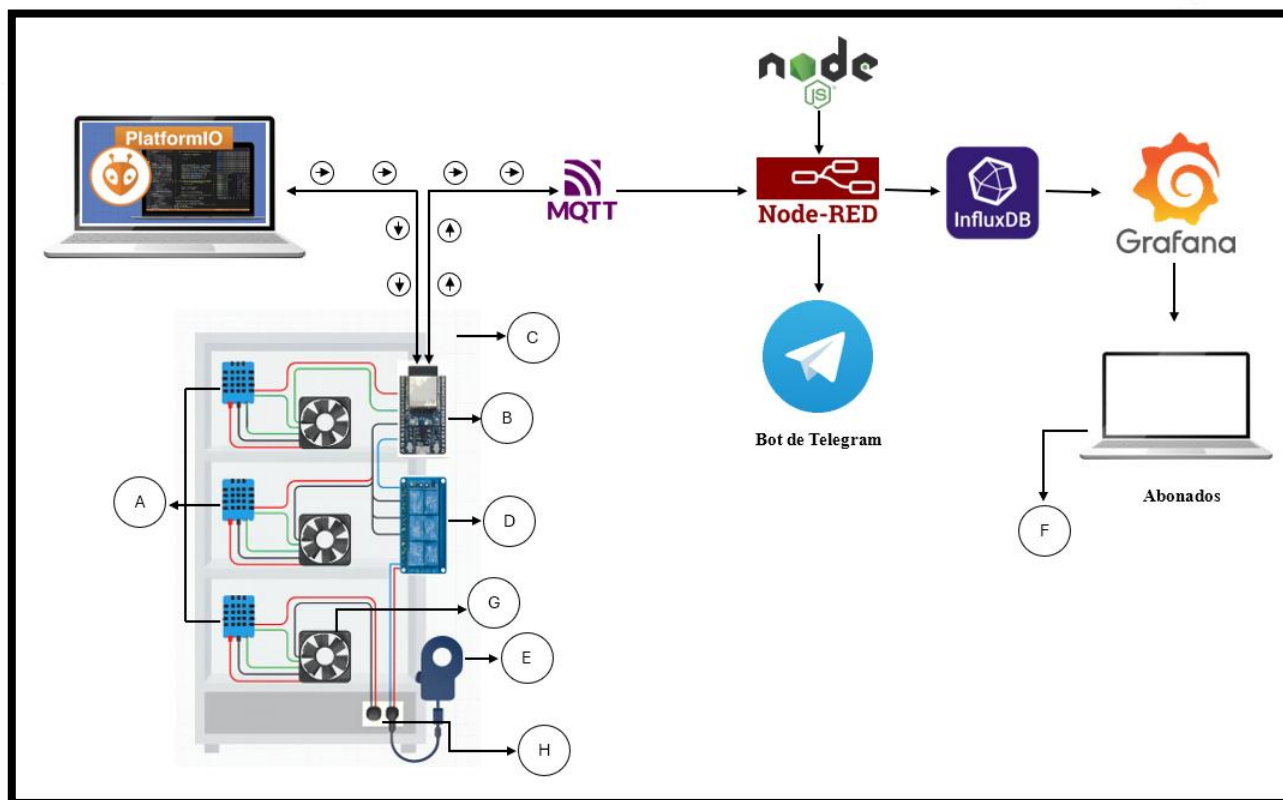


Figura 21-Diagrama esquemático de la estructura del control y monitoreo Fuente: Autor.

Ubicación seleccionada para medición:

- Determinar las ubicaciones principales donde se llevarán a cabo las mediciones. Estas pueden abarcar áreas de estudio, espacios comunes, entre otros.
- Para este propósito, se empleará el Curso de Comunicaciones Inalámbricas del edificio E del Campus Centenario de la UPS donde se realizó el diseño y pruebas del dispositivo, y el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos en donde se realizaron las mediciones, recopilando datos de estos entornos mediante el uso de dispositivos de medición y sensores. En el Anexo 2 se encuentra la Figura 35 donde se observa el datacenter de Megamaxi Ceibos.

Obtención del equipo de medición:

- Adquirir el equipo y software de medición necesarios, como el Microcontrolador ESP32, Sensor DHT11 y Sensor de corriente SCT-013.
- Disponer de los accesorios necesarios para el adecuado funcionamiento del equipo.

Instalación de equipo:

- Determinar las ubicaciones estratégicas en el centro de datos donde se colocará el equipo para monitorear la temperatura, humedad y el consumo energético del equipo.
- Garantizar que el equipo esté correctamente configurado para obtener datos precisos.

Recopilación de datos:

- Definir un horario y la duración de las mediciones para capturar distintos momentos a lo largo de los días de la semana.
- Llevar a cabo mediciones en cada ubicación seleccionada, para asegurarse de continuar los procesos necesarios para realizar la medición.
- Registrar en el sistema de almacenamiento los resultados obtenidos de las distintas mediciones.

Análisis de datos:

- Se procesan los datos obtenidos a través del sensor DHT11 y el sensor SCT-013 y el prototipo.
- Determinar el nivel energético e higrotérmico en cada ubicación seleccionada y analizar las tendencias y patrones.
- Reconocer y analizar las diferentes variables energéticas e higrotérmicas presentes en las áreas seleccionadas.

b. Conexión de los equipos

La Figura 21 presenta el esquema que muestra la conexión de los equipos, comenzando con la programación del microcontrolador ESP32 realizada en la plataforma PlatformIO, la cual permite activar y gestionar todos los sensores del circuito, como se aprecia en la Figura 22. A través del entorno de desarrollo basado en Node.js y Node-RED, se establece la lógica que permite el funcionamiento del sistema, además de habilitar el envío automático de alertas mediante un bot de Telegram cuando los valores registrados por los sensores superan los umbrales sugeridos. Paralelamente, la herramienta InfluxDB se emplea para la creación de las bases de datos en las que se almacenará toda la información capturada, la cual será posteriormente visualizada en la plataforma Grafana. Esto posibilita que cualquier abonado, desde un dispositivo con acceso a Internet, pueda consultar en tiempo real los datos generados por el sistema de monitoreo.

En base a este esquema del circuito, se realizará una maqueta donde estará segmentada por 3 niveles del rack la cual se visualiza en la Figura 22, esto permitirá realizar la toma de datos por cada nivel para así comprobar el sistema de ventilación y a su vez el sistema de alertas.

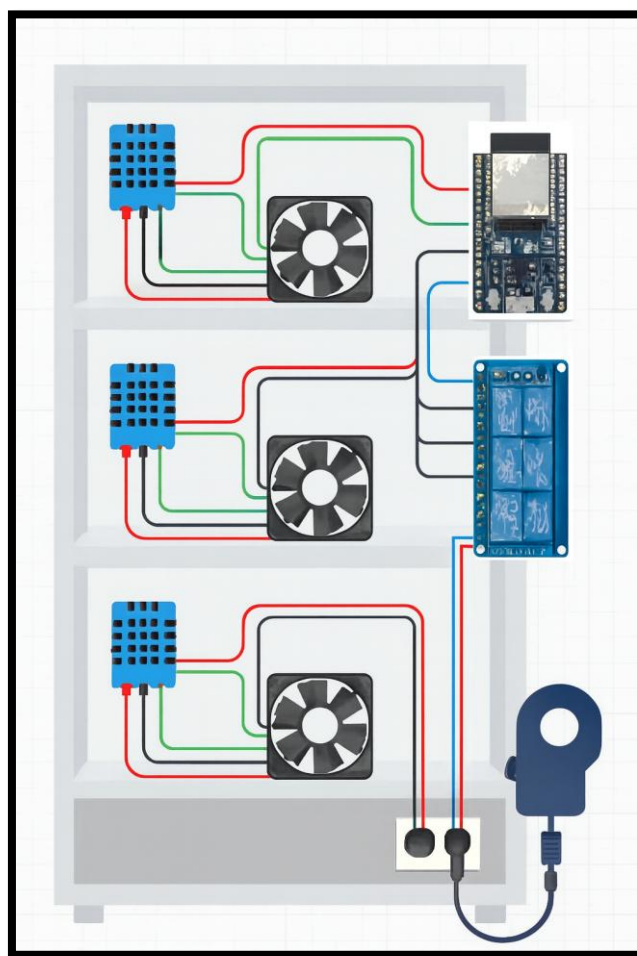


Figura 22-Esquema del circuito Fuente: Autor.

Para realizar el presente proyecto, se utiliza el sensor DHT11 y el sensor SCT-013, los cuales servirán como medio para establecer el umbral ya que estos detectarán los niveles higrotérmicos y de corriente que entren al datacenter.

El microcontrolador ESP32 recibirá los datos y, en caso de detectar niveles elevados de temperatura o humedad, activará automáticamente los ventiladores a través del módulo relé, con el fin de estabilizar las condiciones higrotérmicas.

Las Tablas 4, 5 y 6 presentan las conexiones realizadas para garantizar el correcto funcionamiento del dispositivo.

Conexiones de los sensores DHT11 al microcontrolador ESP32		
Sensor DHT11		Microcontrolador ESP32
DHT1	→	Pin 4
DHT2	→	Pin 16
DHT3	→	Pin 17

Tabla 4-Conexiones del sensor DHT11 al microcontrolador ESP32. Fuente: Autor.

Conexiones del Relé a los ventiladores		
Relé(relay)		Ventiladores
Relay1-Pin 2	→	Ventilador 1
Relay2-Pin 18	→	Ventilador 2
Relay3-Pin 19	→	Ventilador 3

Tabla 5 -Conexiones del Relé a los ventiladores. Fuente: Autor.

Conexión del Sensor SCT-013 al microcontrolador ESP32		
SCT-013		Microcontrolador ESP32
SCT-013	→	Pin 34

Tabla 6 -Conexión del SCT-013 al microcontrolador ESP32. Fuente: Autor.

A continuación, se presenta en la Figura 23 el prototipo en proceso, y se muestra las conexiones realizadas de manera física en el protoboard, en esta etapa se comprobó que todos los equipos funcionen y se adapten a los objetivos que se busca en el proyecto. Para luego adaptarlos a la maqueta que se observa en la Figura 24.

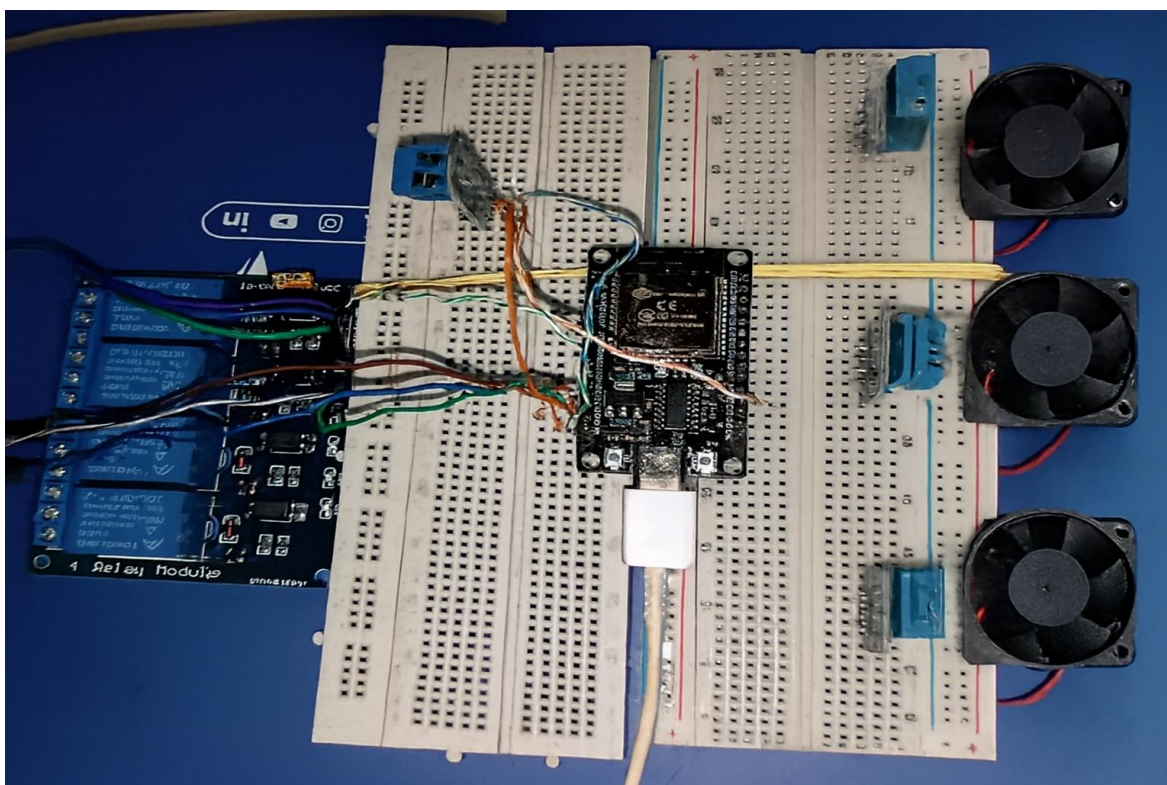


Figura 23-Prototipo en proceso Fuente: Autor.

En la Figura 24 se muestra la maqueta del proyecto donde se replica un rack de un datacenter, aquí se realizó todas pruebas y tomas de datos por cada nivel, como se detalla en la imagen que está dividido por nivel 1,2 y 3.

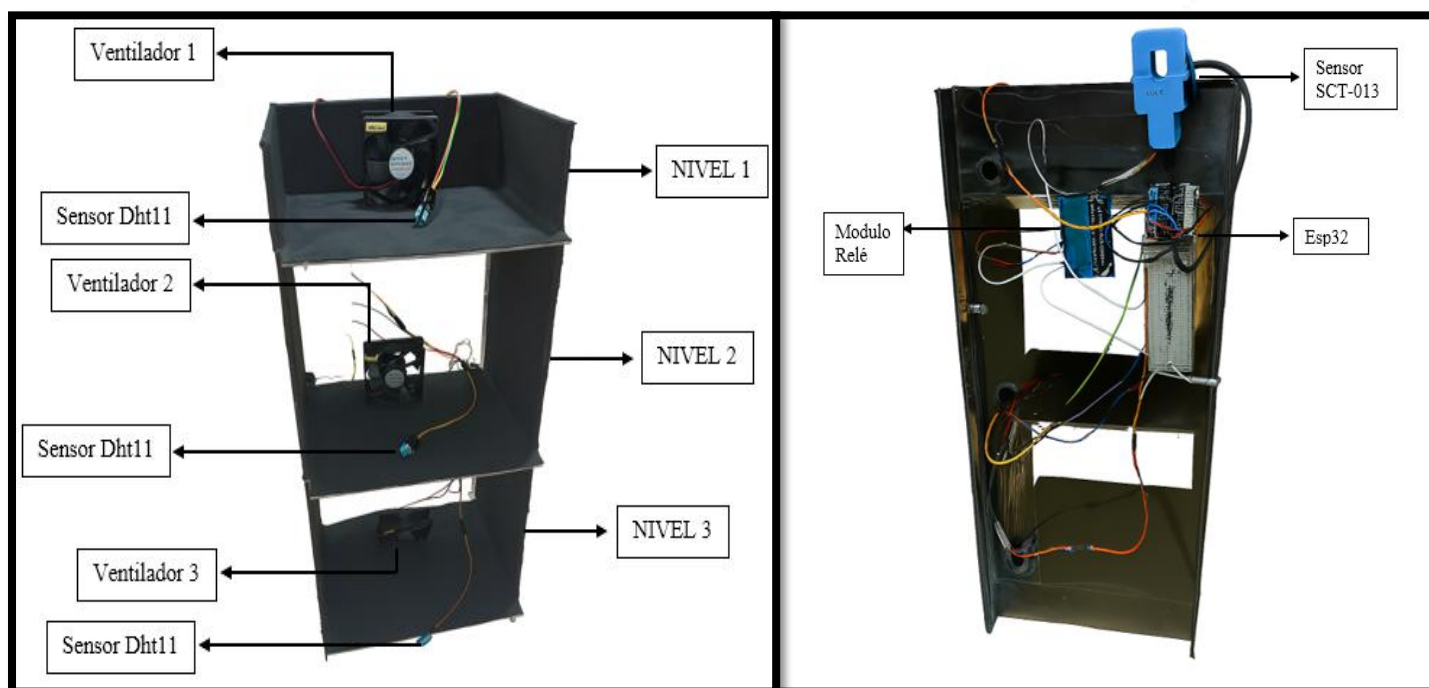
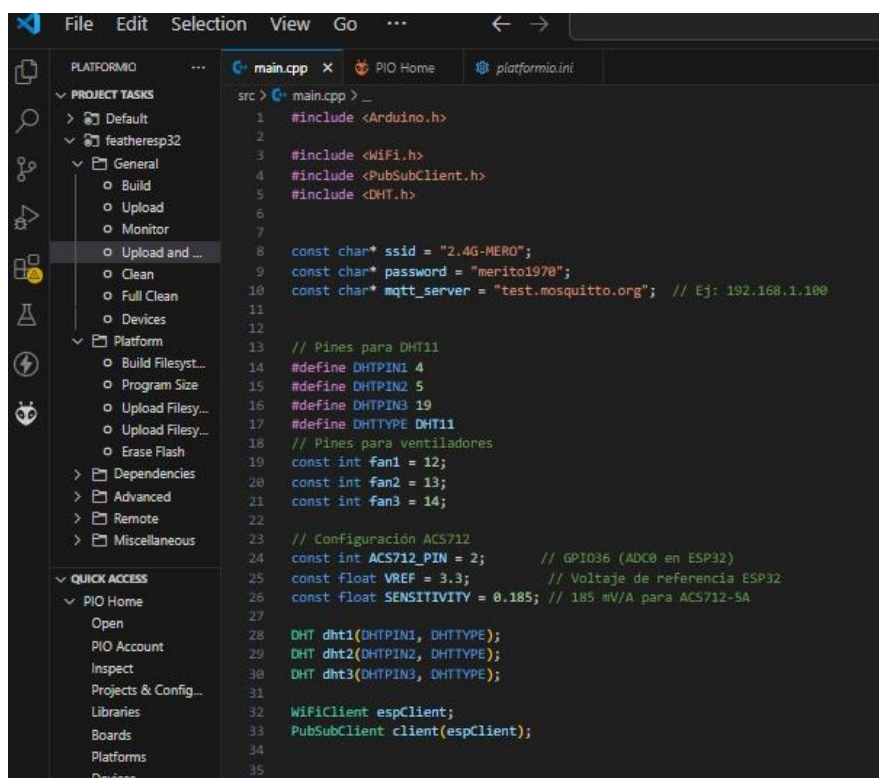


Figura 24-Prototipo completo Fuente: Autor.

c. Simulación y desarrollo del dispositivo

Como primer paso, se realiza la programación en la plataforma PlatformIO como se indica en la Figura 25, para el óptimo funcionamiento de los sensores, el mismo permitirá que cuando llegue a altos niveles de humedad y temperatura los ventiladores se activen y se envíen las alertas por Telegram así mismo con el nivel de consumo de corriente cuando este muy alto o bajo. Estos niveles son: de 0.1A como rango mínimo y 2A como rango máximo en el consumo de corriente, para el nivel de temperatura esta en el rango de 16°C como rango mínimo y 30°C como máximo y para el nivel de humedad está entre el 40% y 70%. En el Anexo 1 se muestra la codificación completa realizada en la plataforma PlatformIO, se muestra a detalle toda la programación del prototipo.

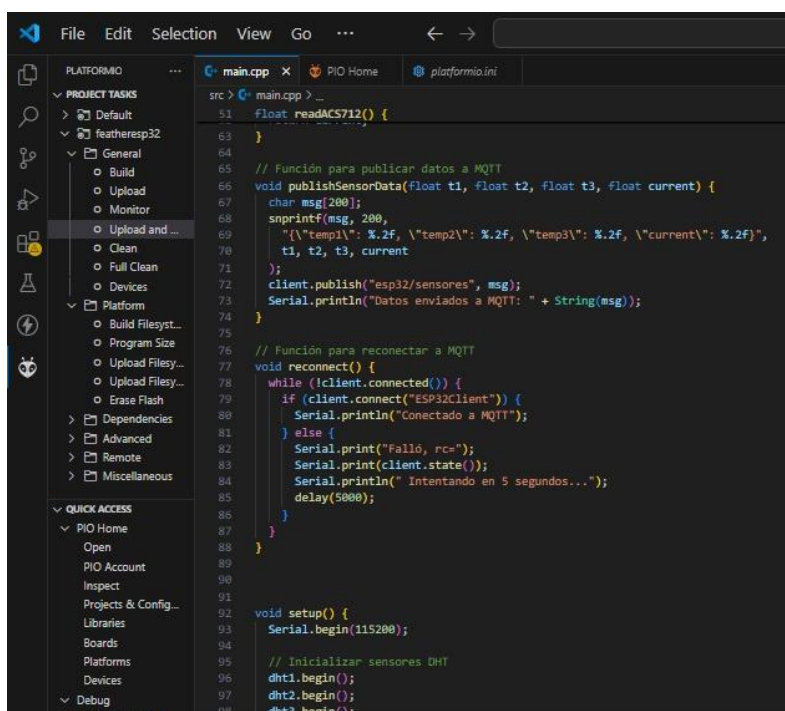


```
File Edit Selection View Go ...
PLATFORMIO ...
PROJECT TASKS
  > Default
  > feathresp32
    > General
      > Build
      > Upload
      > Monitor
      > Upload and ...
      > Clean
      > Full Clean
      > Devices
    > Platform
      > Build Filesystem...
      > Program Size
      > Upload Filesystem...
      > Upload Filesystem...
      > Erase Flash
    > Dependencies
    > Advanced
    > Remote
    > Miscellaneous
  > QUICK ACCESS
    > PIO Home
      > Open
      > PIO Account
      > Inspect
      > Projects & Config...
      > Libraries
      > Boards
      > Platforms
      > Devices

src > main.cpp x PIO Home platformio.ini
src > main.cpp > ...
1 #include <Arduino.h>
2
3 #include <WiFi.h>
4 #include <PubSubClient.h>
5 #include <DHT.h>
6
7
8 const char* ssid = "2.4G-MERO";
9 const char* password = "merito1970";
10 const char* mqtt_server = "test.mosquitto.org"; // Ej: 192.168.1.100
11
12
13 // Pines para DHT11
14 #define DHTPIN1 4
15 #define DHTPIN2 5
16 #define DHTPIN3 19
17 #define DHTTYPE DHT11
18 // Pines para ventiladores
19 const int fan1 = 12;
20 const int fan2 = 13;
21 const int fan3 = 14;
22
23 // Configuración ACS712
24 const int ACS712_PIN = 2; // GPIO36 (ADC0 en ESP32)
25 const float VREF = 3.3; // Voltaje de referencia ESP32
26 const float SENSITIVITY = 0.185; // 185 mV/A para ACS712-5A
27
28 DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE);
29 DHT dht2(DHTPIN2, DHTTYPE);
30 DHT dht3(DHTPIN3, DHTTYPE);
31
32 WiFiClient espClient;
33 PubSubClient client(espClient);
34
35
```

Figura 25-Código de funcionamiento de sensores en la plataforma PlatformIO Fuente: Autor.

Una vez realizada la configuración se usa una conexión MQTT, como se muestra en la Figura 26, permitirá enviar todas las señales del sensor a un Bróker, esto asegurará que el intercambio de información sea de manera constante.



```

src > main.cpp x PIO Home platformio.ini
src > main.cpp > ...
51 float readACS712() {
63 }
64
65 // Función para publicar datos a MQTT
66 void publishSensorData(float t1, float t2, float t3, float current) {
67 char msg[200];
68 sprintf(msg, 200,
69 "\temp1\": %.2f, \temp2\": %.2f, \temp3\": %.2f, \current\": %.2f",
70 t1, t2, t3, current
71 );
72 client.publish("esp32/sensores", msg);
73 Serial.println("Datos enviados a MQTT: " + String(msg));
74 }
75
76 // Función para reconectar a MQTT
77 void reconnect() {
78 while (!client.connected()) {
79 if (client.connect("ESP32Client")) {
80 Serial.println("Conectado a MQTT");
81 } else {
82 Serial.print("Falló, rc:");
83 Serial.print(client.state());
84 Serial.println(" Intentando en 5 segundos...");
85 delay(5000);
86 }
87 }
88 }
89
90 void setup() {
91 Serial.begin(115200);
92
93 // Inicializar sensores DHT
94 dht1.begin();
95 dht2.begin();
96
97 #ifndef ESP8266
98

```

Figura 26- Conexión MQTT Fuente: Autor.

Luego se procede a ejecutar la plataforma Node.js como se observa en la Figura 27, el mismo permitirá ejecutar código JavaScript y a su vez le proporcionará la base para que Node-Red construya el sistema de forma gráfica.

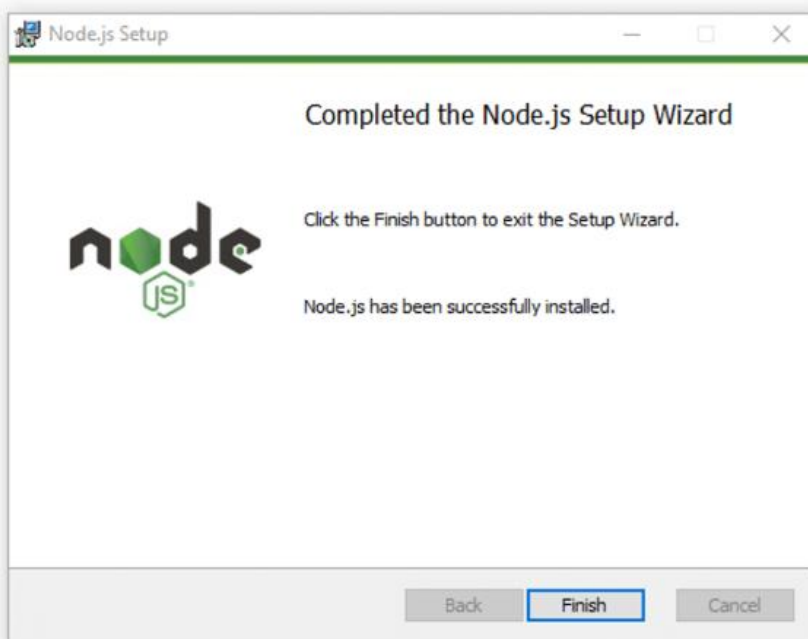
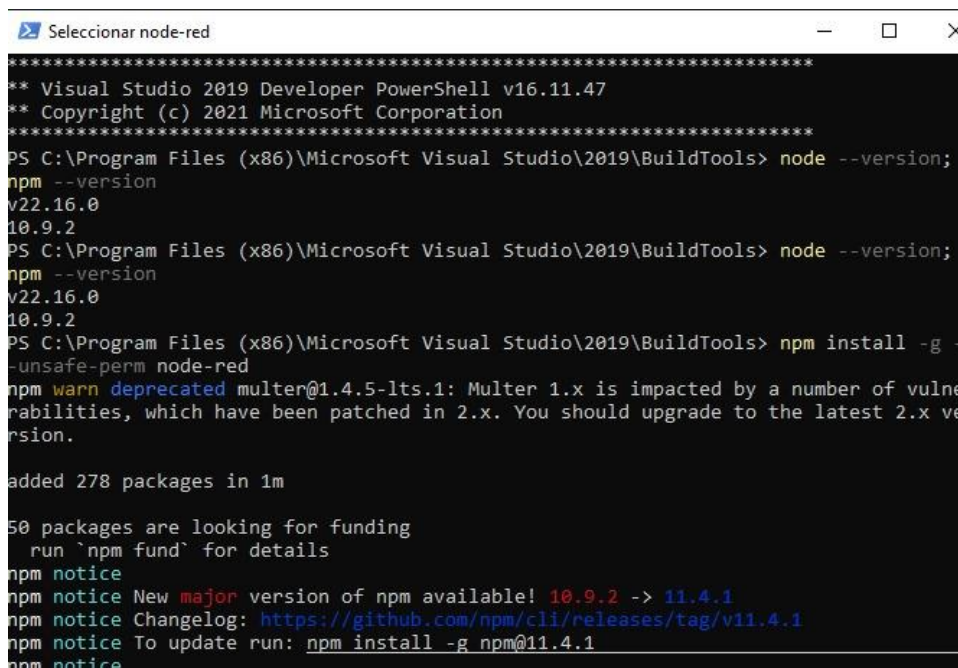


Figura 27-Ejecución de la plataforma Node.js Fuente: Autor.

A continuación, se ejecuta la herramienta Node-Red aprovechando la capacidad de Node.js para manejar las conexiones en tiempo real, como se demuestra en la Figura 28 la

programación en esta plataforma.



```

*****
** Visual Studio 2019 Developer PowerShell v16.11.47
** Copyright (c) 2021 Microsoft Corporation
*****
PS C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio\2019\BuildTools> node --version;
v22.16.0
PS C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio\2019\BuildTools> npm --version;
v22.16.0
PS C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio\2019\BuildTools> npm install -g node-red
npm warn deprecated multier@1.4.5-lts.1: Multier 1.x is impacted by a number of vulnerabilities, which have been patched in 2.x. You should upgrade to the latest 2.x version.

added 278 packages in 1m
50 packages are looking for funding
  run `npm fund` for details
npm notice
npm notice New major version of npm available! 10.9.2 -> 11.4.1
npm notice Changelog: https://github.com/npm/cli/releases/tag/v11.4.1
npm notice To update run: npm install -g npm@11.4.1
npm notice
  
```

Figura 28-Programacion en Node-Red Fuente: Autor.

Luego de haber realizado la codificación en Node-Red se construye el sistema de forma gráfica, y se presenta en la Figura 29 un esquema de bloques.

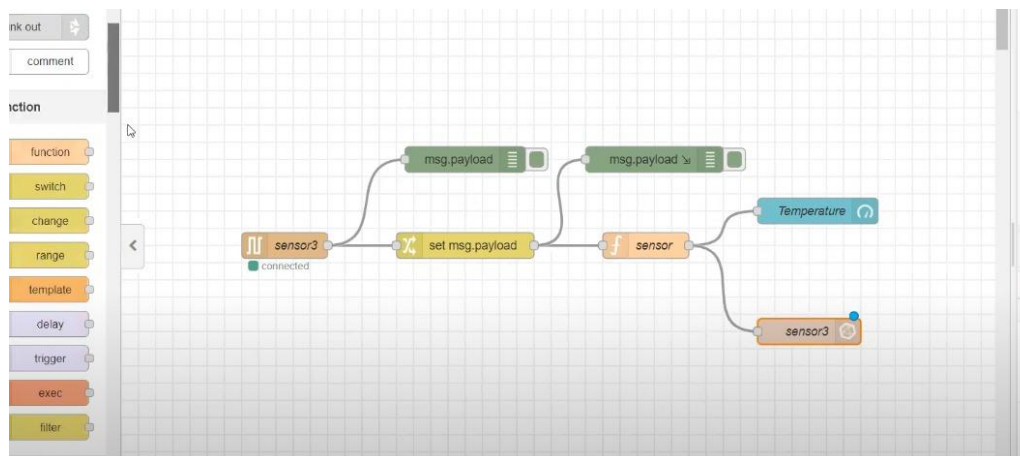


Figura 29-Sistema gráfico de Node-Red Fuente: Autor.

A continuación, en la Figura 30, en node red se realiza la configuración de un bot de Telegram para ello se registra el bot usando @BotFather para obtener el token de autenticación. Luego se crean nodos específicos para Telegram que facilitan la gestión de mensajes entrantes y salientes. En el Anexo 3 se muestra la Figura 36 y la Figura 37 en ambas se observa las alertas en donde indican que componentes están fuera de rango.

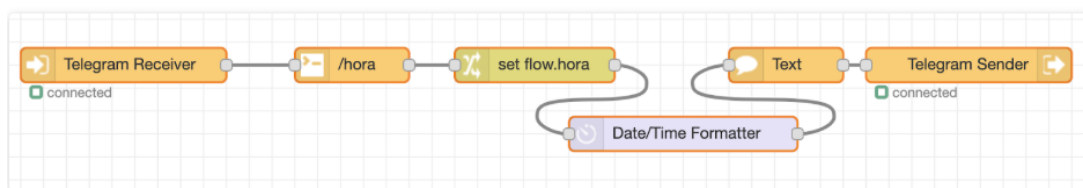


Figura 30-Sistema gráfico Bot de Telegram en Node-Red Fuente: Autor.

Luego se crean las tablas en la plataforma InfluxDB que servirá para poder almacenar toda la información que nos ha estado enviando los sensores. Se observa en la Figura 31 la ejecución de la plataforma.

```
C:\Users\USER\Downloads\influxdb-1.7.7_windows_amd64\influxdb-1.7.7-1\influx.exe
connected to http://localhost:8086 version 1.7.7
InfluxDB shell version: 1.7.7
> use sensor3
Using database sensor3
>
```

Figura 31-Creación de tablas en plataforma InfluxDB Fuente: Autor.

A partir de aquí, se creó una cuenta en Grafana como se muestra en la Figura 32 y luego se procedió conectar la base de datos con la plataforma, en la Figura 33 se visualiza la toma de datos en tiempo real de los tres niveles que serán evaluados, misma que servirá para verificar los niveles higrotérmicos y en caso de que los niveles sean elevados se enciende el sistema de ventilación para su regulación, así mismo se monitoreara el nivel energético para evitar daños en los equipos del datacenter.

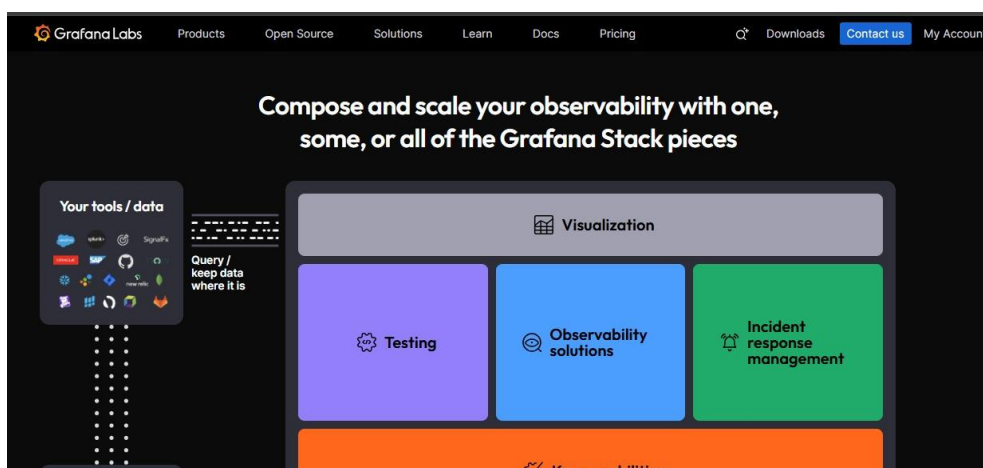


Figura 32-Ejecución de la plataforma Grafana Fuente: Autor.

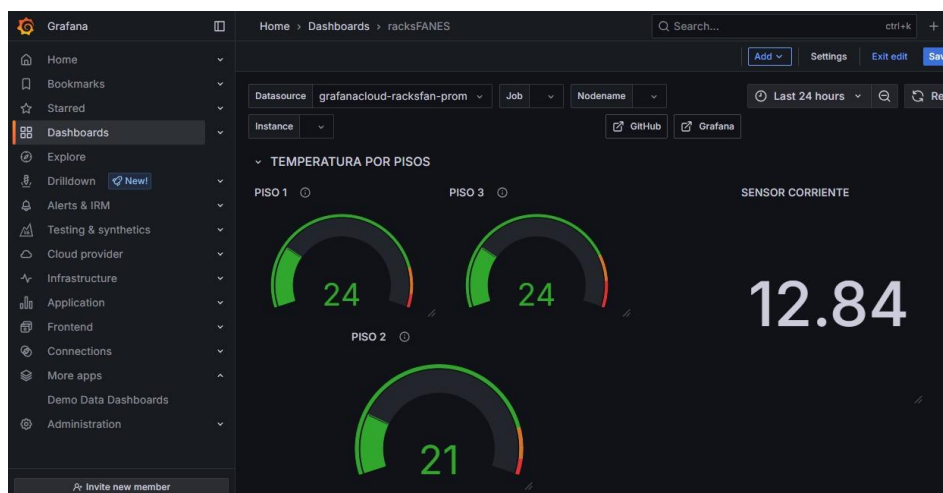


Figura 33-Visualización de datos en tiempo real Fuente: Autor.

A continuación, la Figura 34 presenta un esquema de bloques del paso a paso que se realizó para el prototipo del proyecto, se detalla los distintos módulos para la correcta comprensión de este.

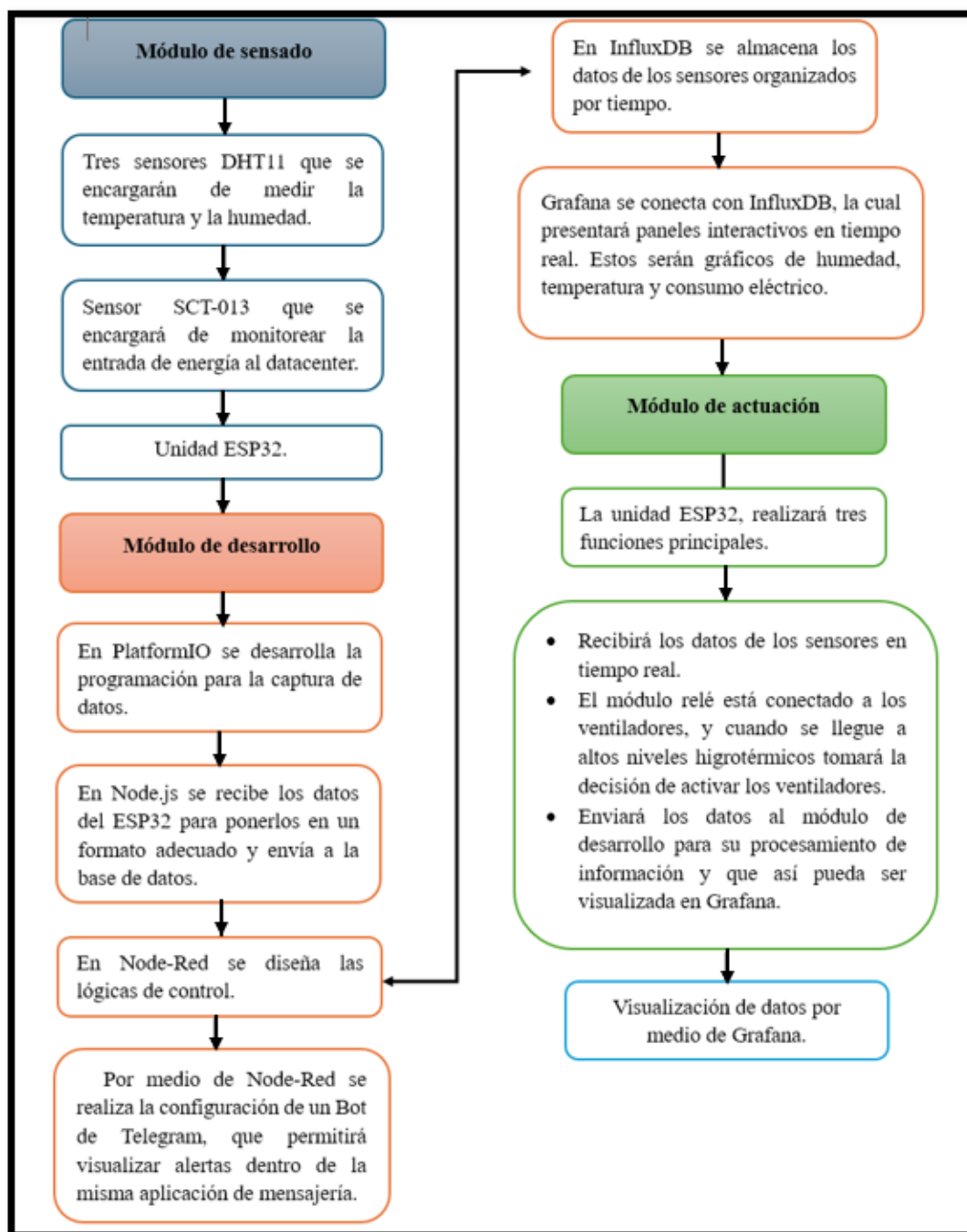


Figura 34-Diagrama de bloques Fuente: Autor.

d. Datos obtenidos.

- **Datos obtenidos del curso de comunicaciones inalámbricas por una hora.**

En el curso de Comunicaciones Inalámbricas en la universidad Politécnica Salesiana se realizó las pruebas con cada uno de los sensores de cada nivel de la maqueta del proyecto usando una secadora de cabello para recrear escenarios críticos en los niveles de temperatura, a su vez se empleó un pañuelo mojado cerca del sensor DHT11 en donde se emula escenarios críticos en los niveles de humedad. Para así poder verificar el funcionamiento del sistema de ventilación, se visualiza en la Figura 24 en donde se emula tres niveles de un rack de servidores con un sensor DHT11 y un ventilador por cada nivel, esto fue llevado a cabo con una tasa de refresco de 10 segundos, tal como se observa en la Tabla 7 y Figura 35 donde se muestra una Tabla resumen del nivel de Temperatura, se observan 5 datos obtenidos del Prototipo y de los datos obtenidos del Higrómetro, en el Anexo 4 se observan las tablas con los 100 datos obtenidos. Tomando en cuenta las siguientes variables Temp=temperatura, Hum=humedad, Corr=corriente, Prot=Prototipo, Higo= Higrómetro, Mult= Multímetro, E= Numero de eventos, esto para todas las tablas de datos obtenidos.

Se comparó los datos obtenidos del prototipo con los valores obtenidos del higrómetro que servirá para medir los valores de humedad y temperatura y el multímetro que servirá para medir los datos de consumo de corriente, estos dispositivos son de uso comercial y fueron seleccionados por su alta efectividad y buenas reseñas comerciales, con una tasa de refresco de 10 segundos como se observa en la Tabla 7 y Figura 36. Esta comparativa facilitó la evaluación del desempeño del prototipo.

i. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.

Aquí se muestra la Tabla resumen de datos y los 100 datos completos se encuentran en la Tabla 23 ubicada en el Anexo 4.

Temperatura Nivel 1-Prototipo/Higrómetro		
E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higo
10	23.8	23.8
20	23.8	23.9
30	23.8	23.7
40	23.8	23.9
50	23.4	23.3

Tabla 7-Tabla resumen de datos de Temperatura del nivel 1. Fuente: Autor.

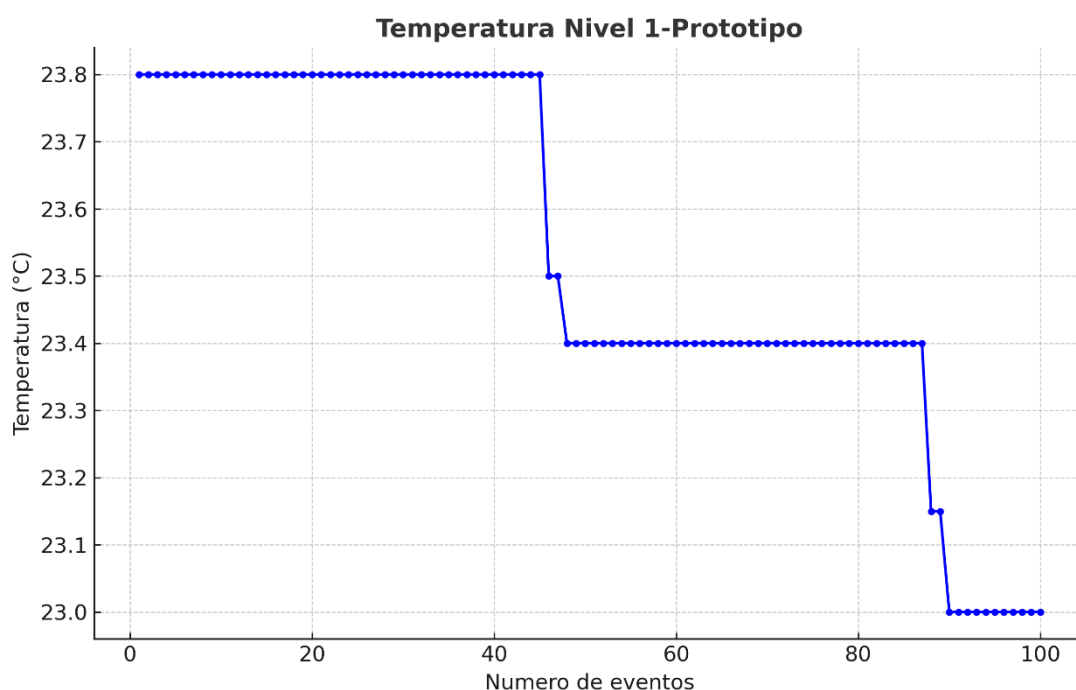


Figura 35-Mediciones de Temperatura del prototipo en el nivel 1. Fuente: Autor.

Se observa en la Figura 36 los datos obtenidos de la temperatura del nivel 1 usando el higrómetro.

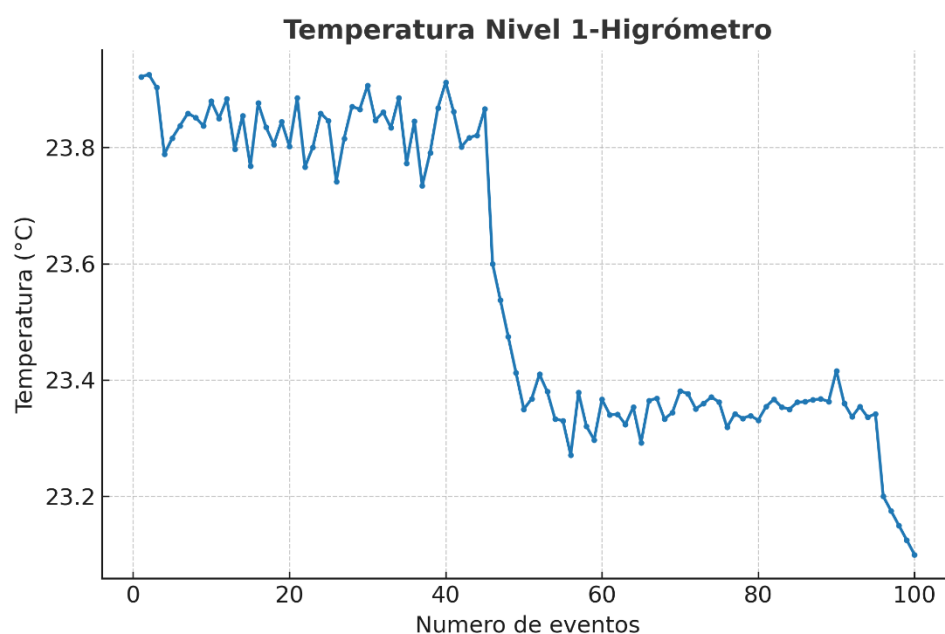


Figura 36-Mediciones de Temperatura del nivel 1 usando un higrómetro. Fuente: Autor.

ii. **Toma de pruebas de la temperatura del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.**

En la Tabla 8 se muestra un resumen de la toma de datos de la temperatura del nivel 2, en la Figura 37 los datos del prototipo y en la Figura 38 los datos del higrómetro. Los 100 datos completos se encuentran en la Tabla 24 ubicada en el Anexo 4.

Temperatura Nivel 2-Prototipo/Higrómetro		
E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro
10	23.8	23.7
20	23.75	23.6
30	23.4	23.35
40	23.4	23.4
50	23	23.05

Tabla 8- Tabla resumen de datos de Temperatura del Nivel 2. Fuente: Autor.

Temperatura Nivel 2-Prototipo

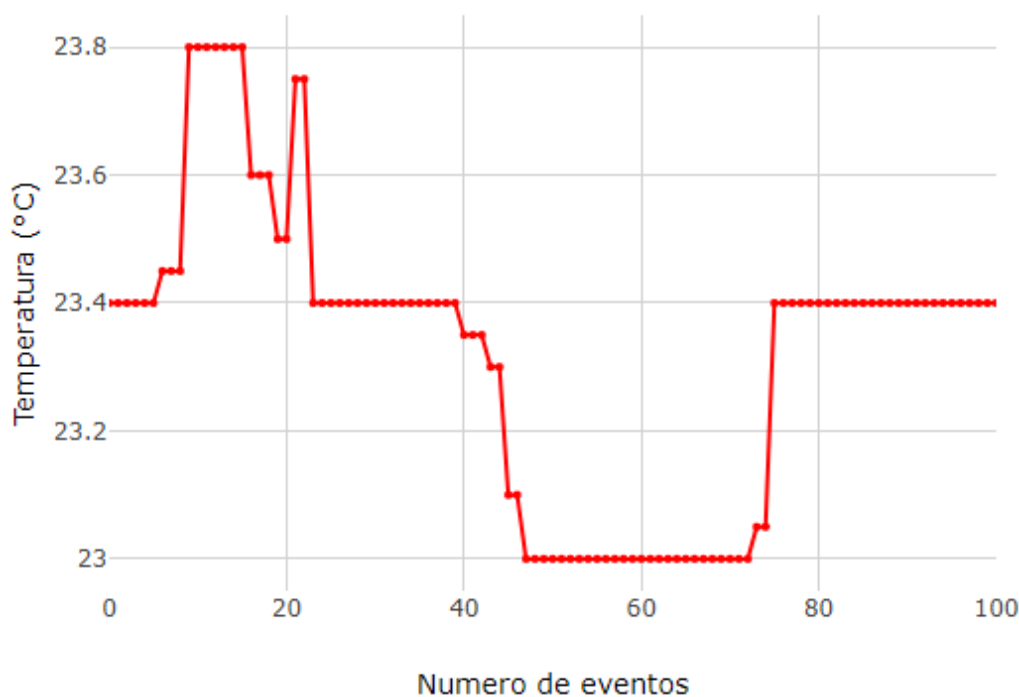


Figura 37- Mediciones de Temperatura del prototipo en el nivel 2. Fuente: Autor.

Temperatura Nivel 2-Higrómetro

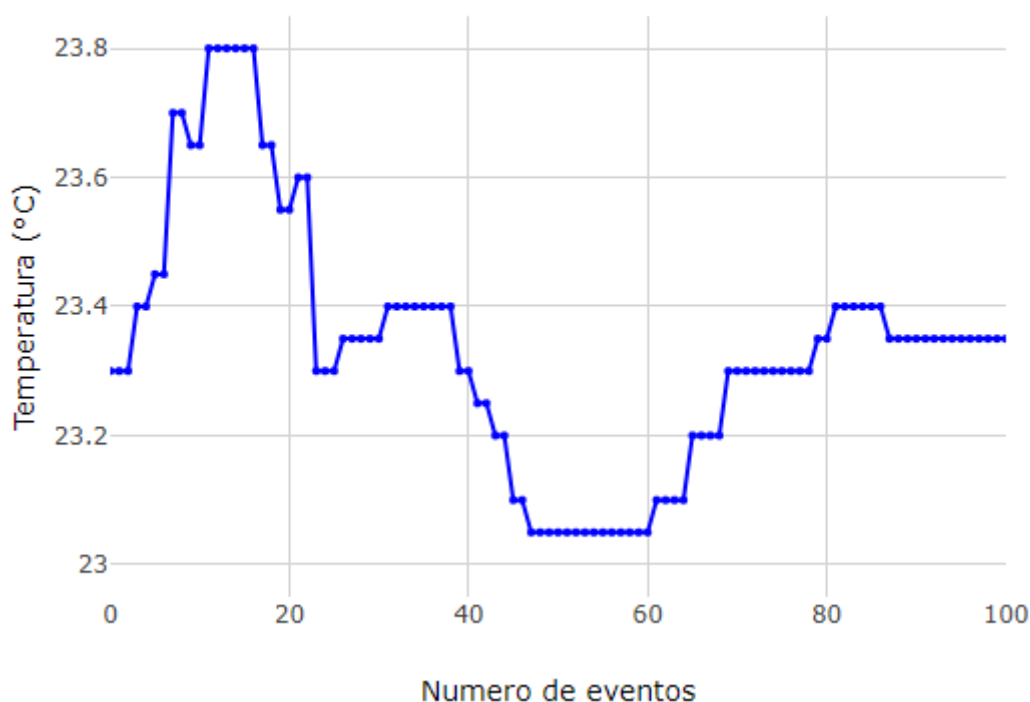


Figura 38-Mediciones de Temperatura del Nivel 2 usando un higrómetro. Fuente: Autor.

iii. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.

En la Tabla 9 se muestra un resumen de la toma de datos de la temperatura del nivel 3, en la Figura 39 los datos del prototipo y en la Figura 40 los datos del higrómetro. Los 100 datos completos se encuentran en la Tabla 25 ubicada en el Anexo 4.

Temperatura Nivel 3-Prototipo/Higrómetro		
E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro
10	22.7	22.8
20	22.6	22.7
30	22.6	22.7
40	23	23.05
50	23	23.05

Tabla 9- Tabla resumen de datos de Temperatura del Nivel 3. Fuente: Autor.

Temperatura Nivel 3-Prototipo

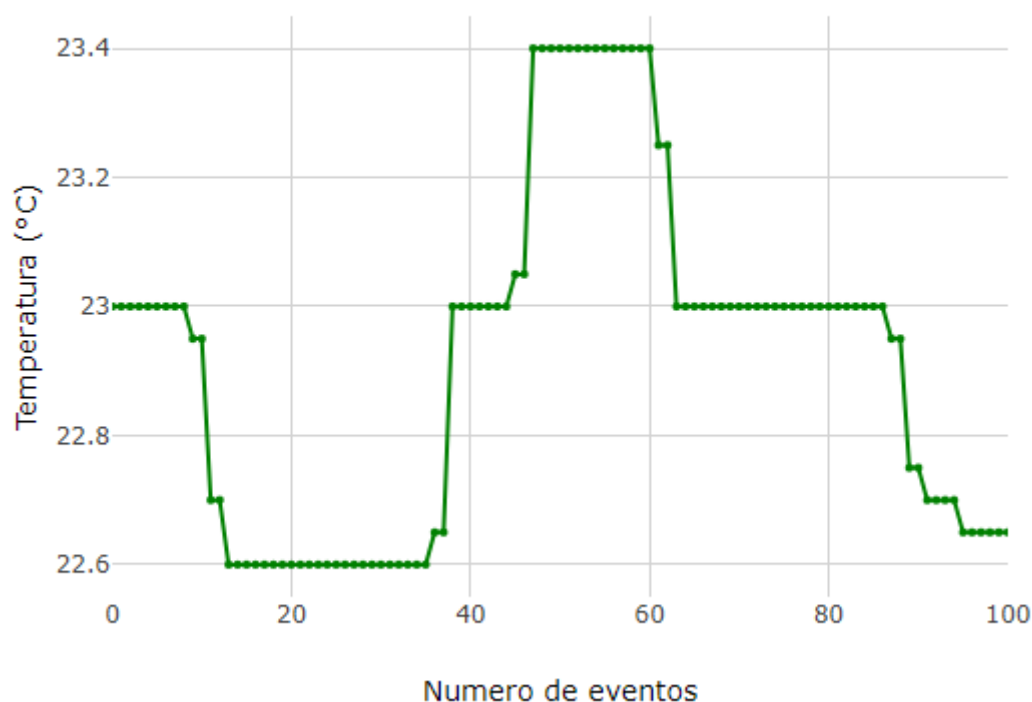


Figura 39-Mediciones de Temperatura del prototipo en el nivel 3. Fuente: Autor

Temperatura Nivel 3-Higrómetro

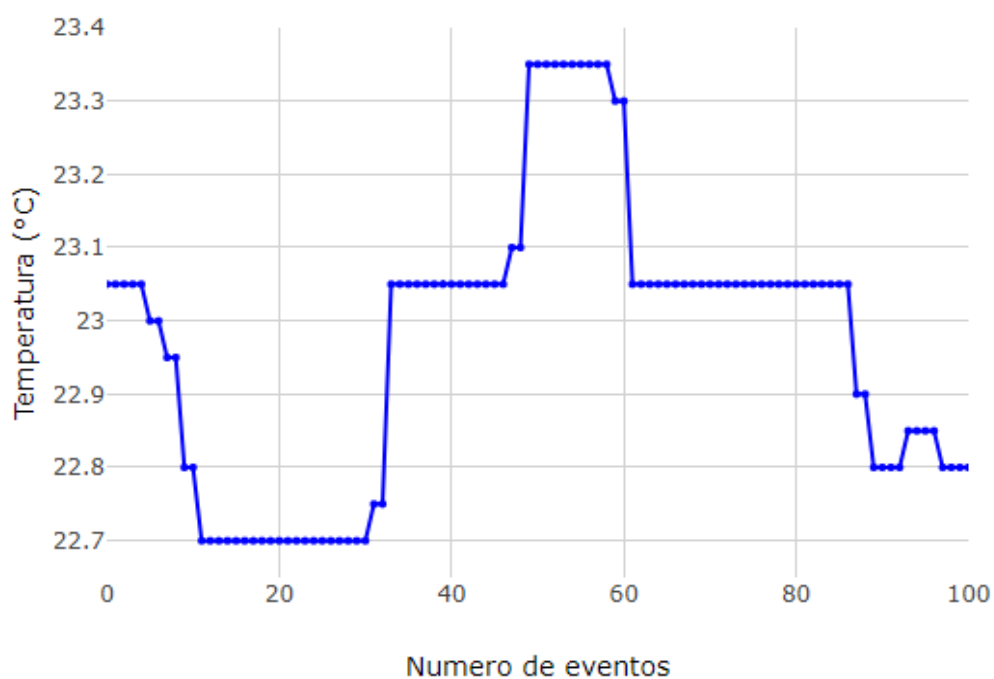


Figura 40-Mediciones de Temperatura del Nivel 3 usando un higrómetro. Fuente: Autor.

iv. Toma de pruebas de la humedad del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.

En la Tabla 10 se muestra un resumen de la toma de datos de la humedad del nivel 1, los 100 datos completos se encuentran en la Tabla 26 ubicada en el Anexo 4, en la Figura 41 los datos del prototipo y en la Figura 42 los datos del higrómetro. Para realizar estas pruebas se usó un pañuelo mojado y se froto cerca del sensor DHT11 del prototipo, esto sirvió para comprobar la efectividad del prototipo y verificar el sistema de alertas vía telegram. En el caso del higrómetro, únicamente se registraron los datos correspondientes al ambiente del curso de Comunicaciones Inalámbricas.

Humedad Nivel 1-Prototipo/Higrómetro		
E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro
10	70	70
20	73.9	69
30	77	68.4
40	80.5	66
50	77.3	68.6

Tabla 10- Tabla resumen de datos de Humedad del Nivel 1. Fuente: Autor.

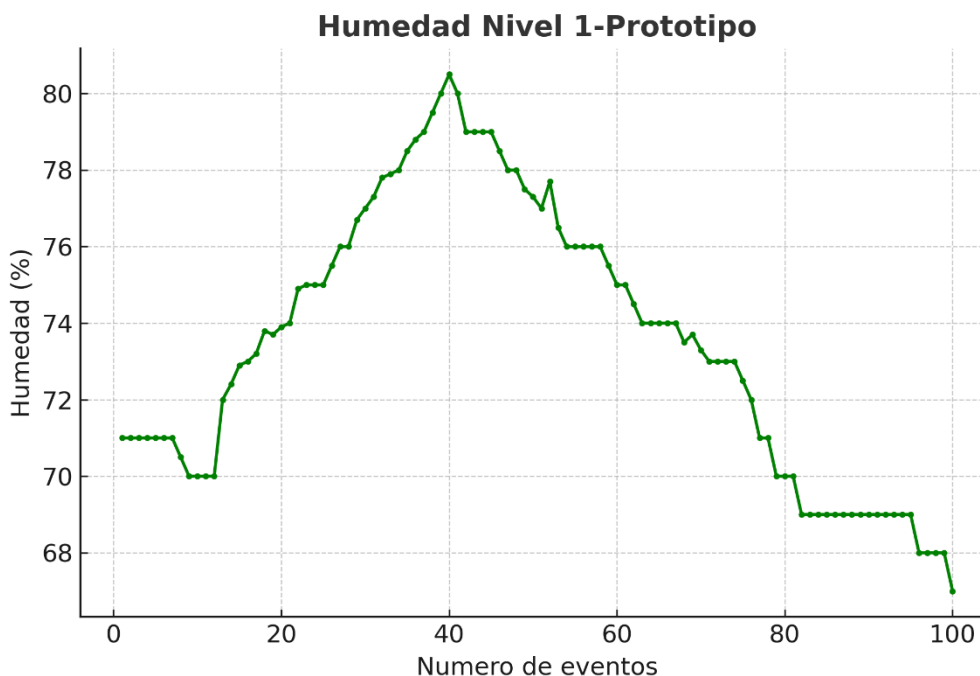


Figura 41-Mediciones de Humedad del prototipo en el nivel 1. Fuente: Autor.

Humedad Nivel 1-Higrómetro

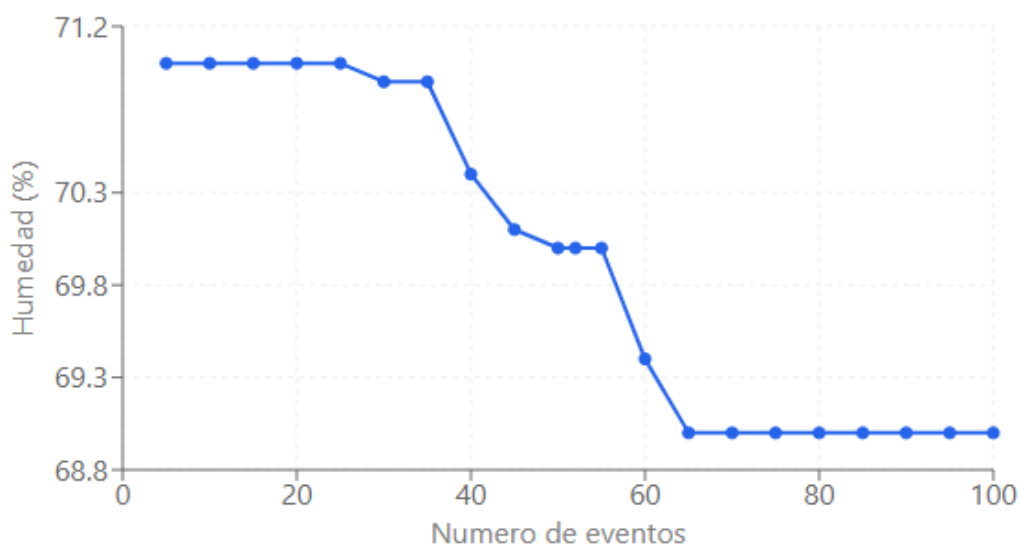


Figura 42-Mediciones de Humedad del Nivel 1 usando un higrómetro. Fuente: Autor.

v. Toma de pruebas de la humedad del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.

En la Tabla 11 se muestra un resumen de la toma de datos de la humedad del nivel 2, en la Figura 43 los datos del prototipo y en la Figura 44 los datos del higrómetro. Los 100 datos completos se encuentran en la Tabla 27 ubicada en el Anexo 4.

Humedad Nivel 2-Prototipo/Higrómetro		
E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro
10	70	70
20	69	69
30	68	68
40	66	66.5
50	69	67.6

Tabla 11- Tabla resumen de datos de Humedad del Nivel 2. Fuente: Autor.

Humedad Nivel 2-Prototipo

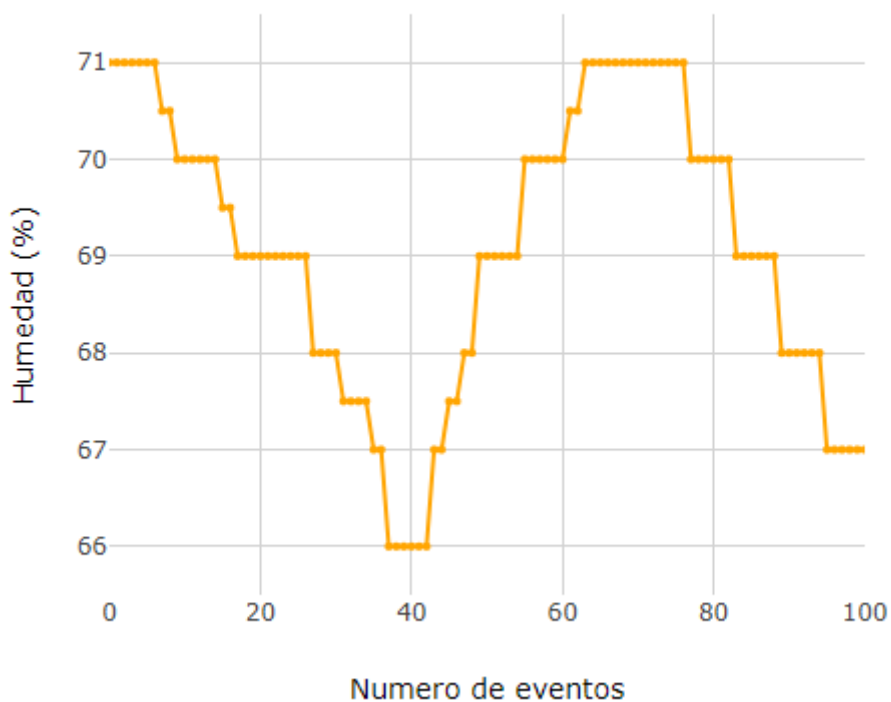


Figura 43-Mediciones de Humedad del prototipo en el nivel 2. Fuente: Autor.

Humedad Nivel 2-Higrómetro

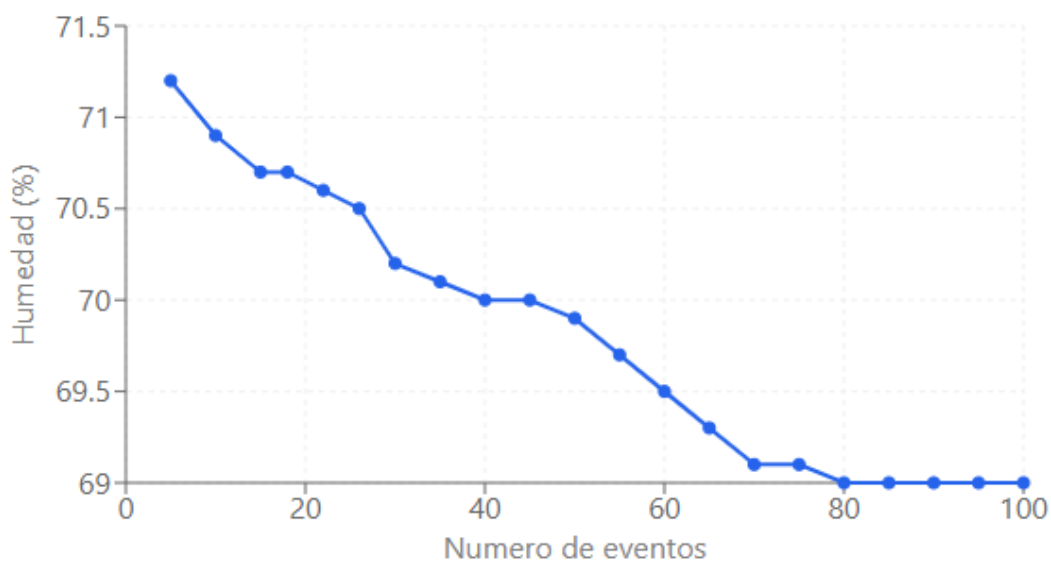


Figura 44-Mediciones de Humedad del Nivel 2 usando un higrómetro. Fuente: Autor.

vi. Toma de pruebas de la humedad del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.

En la Tabla 12 se muestra un resumen de la toma de datos de la humedad del nivel 3, en la Figura 45 los datos del prototipo y en la Figura 46 los datos del higrómetro. Los 100 datos completos se encuentran en la Tabla 28 ubicada en el Anexo 4.

Humedad Nivel 3-Prototipo/Higrómetro		
E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro
10	71	70.2
20	69	69.7
30	68	68.4
40	66	66.1
50	64	64.7

Tabla 12- Tabla resumen de datos de Humedad del Nivel 3. Fuente: Autor.

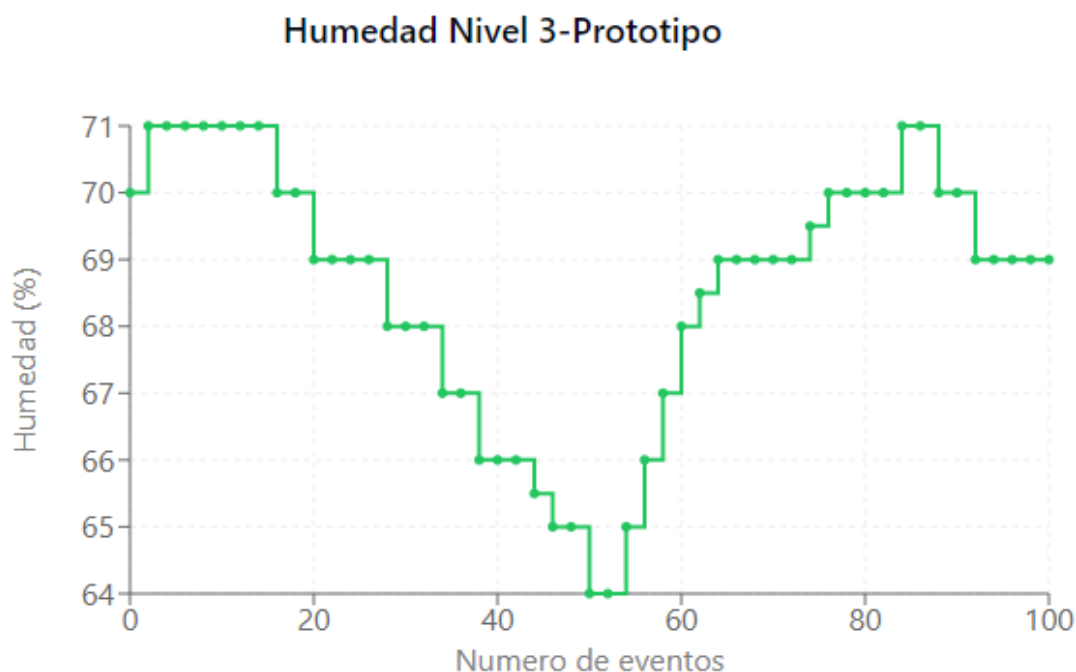


Figura 45-Mediciones de Humedad del prototipo en el nivel 3. Fuente: Autor.

Humedad Nivel 3-Higrómetro

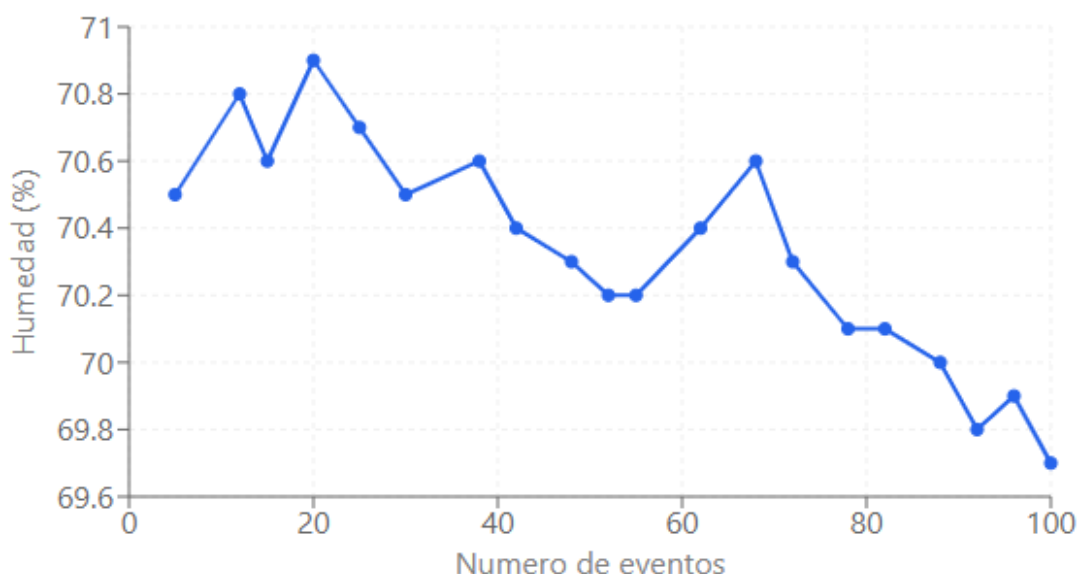


Figura 46-Mediciones de Humedad del Nivel 3 usando un higrómetro. Fuente: Autor.

- vii. **Toma de pruebas del consumo de corriente del prototipo, utilizando el sensor SCT-013-030 del prototipo y también el multímetro, realizada en el aula de Comunicaciones Inalámbricas.**

En la Tabla 13 se muestra un resumen de la toma de datos del consumo de corriente del prototipo, en la Figura 47 se muestra los datos del sensor SCT-013-030 del prototipo y en la Figura 48 los datos obtenidos del multímetro. Los 100 datos completos se encuentran en la Tabla 29 ubicada en el Anexo 4.

Consumo de corriente -Prototipo/Multímetro		
E	Corr(A)-Prot	Corr(A)-Mult
10	0	0
20	2	2.1
30	2,5	2.6
40	3	2.9
50	3	3

Tabla 13- Tabla resumen de datos de Consumo de corriente del Prototipo, utilizando también el multímetro. Fuente: Autor.

Consumo de Corriente-Prototipo

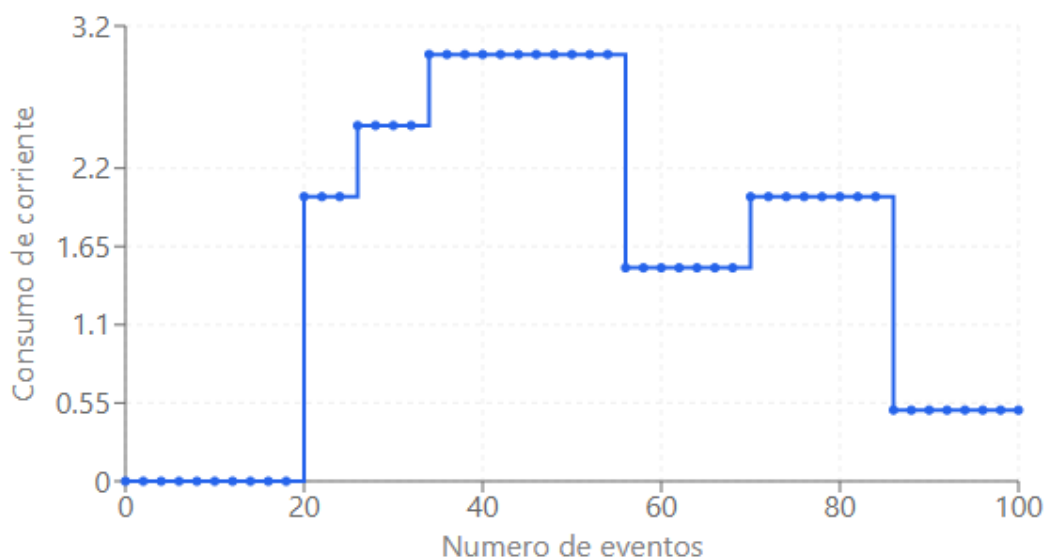


Figura 47- Mediciones del sensor de corriente del Prototipo. Fuente: Autor.

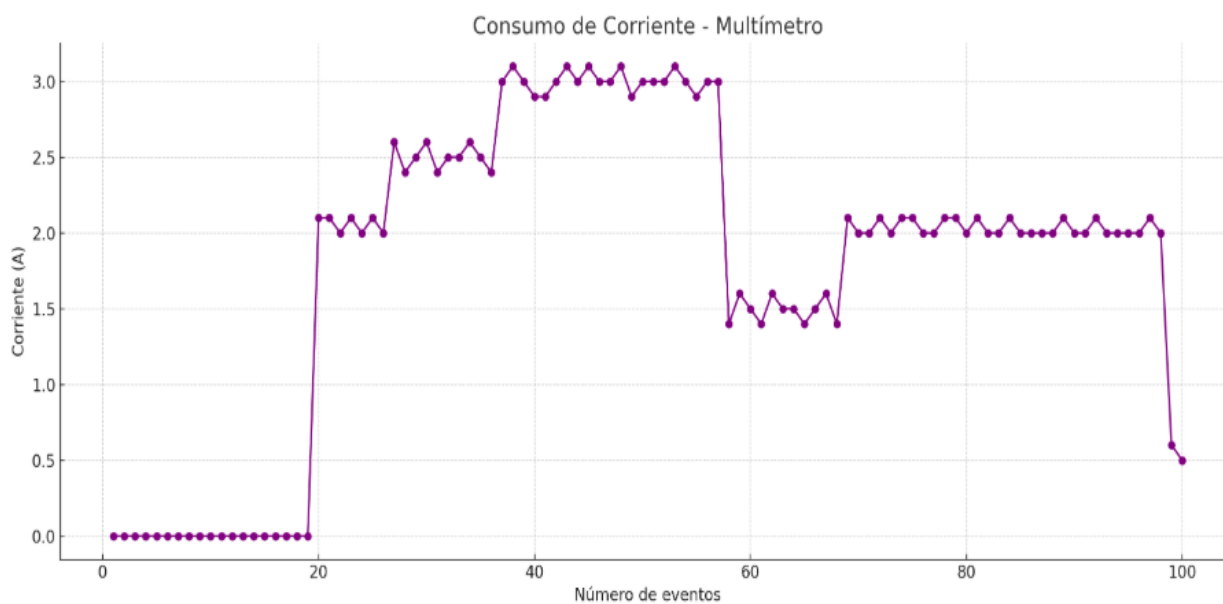


Figura 48- Mediciones de corriente del Prototipo con multímetro. Fuente: Autor.

- **Datos obtenidos en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.**

En el datacenter de Megamaxi Ceibos se realizó la siguiente toma de datos bajo condiciones ambientales normales y propias del datacenter, se colocó la maqueta del proyecto en el área, lo cual permitió simular un entorno real en el que se podrían presentar variaciones de temperatura similares a las de un datacenter. El objetivo de esta prueba fue validar el funcionamiento del prototipo propuesto para el monitoreo energético e higrotérmico con regulación inteligente de ventilación. Los datos obtenidos permiten observar patrones térmicos que evidencian zonas con acumulación de calor, lo cual justifica la necesidad de un sistema que regule automáticamente las condiciones ambientales. Se lo realizó con cada uno de los sensores del prototipo con una tasa de refresco de 10 segundos, tal como se observa en la Tabla resumen 14 y Figura 49. Todas las tablas completas con los 100 datos obtenidos del datacenter de Megamaxi Ceibos se encuentran en el Anexo 5.

i. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.

Aquí se muestra la Tabla resumen de datos y los 100 datos completos se encuentran en la Tabla 30 ubicada en el Anexo 5.

Temperatura Nivel 1-Prototipo/Higrómetro		
E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro
10	23	23
20	27	27
30	32	32
40	33	33
50	40.3	40.3

Tabla 14- Tabla resumen de datos de Temperatura del nivel 1. Fuente: Autor.

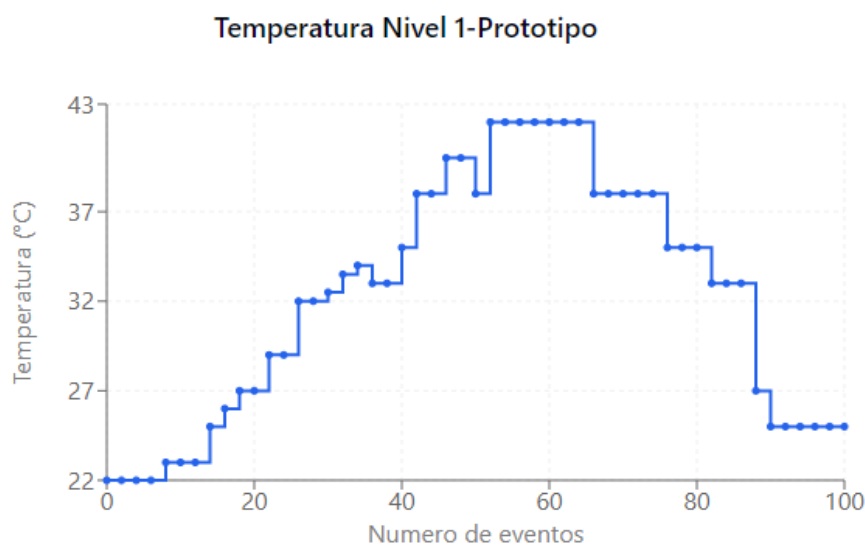


Figura 49- Mediciones de Temperatura del prototipo en el nivel 1. Fuente: Autor.

Se observa en la Figura 50 los datos obtenidos de la temperatura del nivel 1 usando el higrómetro.

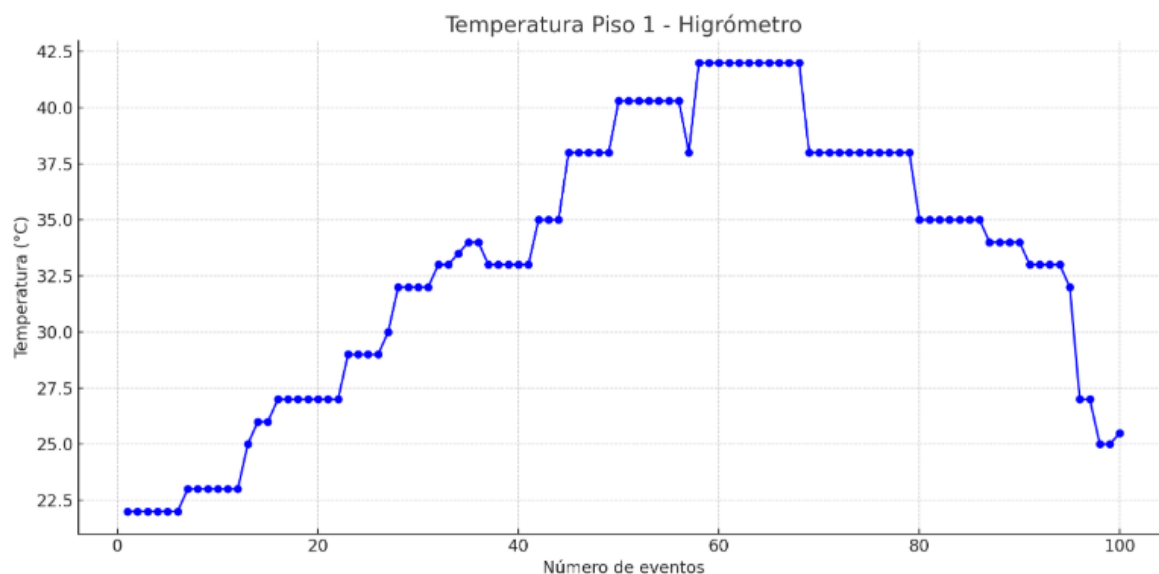


Figura 50-Mediciones de Temperatura del Nivel 1 usando un higrómetro. Fuente: Autor.

ii. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.

En la Tabla 15 se muestra un resumen de la toma de datos de la temperatura del nivel 2, en la Figura 51 los datos del prototipo y en la Figura 52 los datos del higrómetro. Los 100 datos completos se encuentran en la Tabla 31 ubicada en el Anexo 5.

Temperatura Nivel 2-Prototipo/Higrómetro		
E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro
10	23	23
20	28	28
30	30	30.2
40	35	35.2
50	38	38

Tabla 15- Tabla resumen de datos de Temperatura del nivel 2. Fuente: Autor.

Temperatura Nivel 2-Prototipo

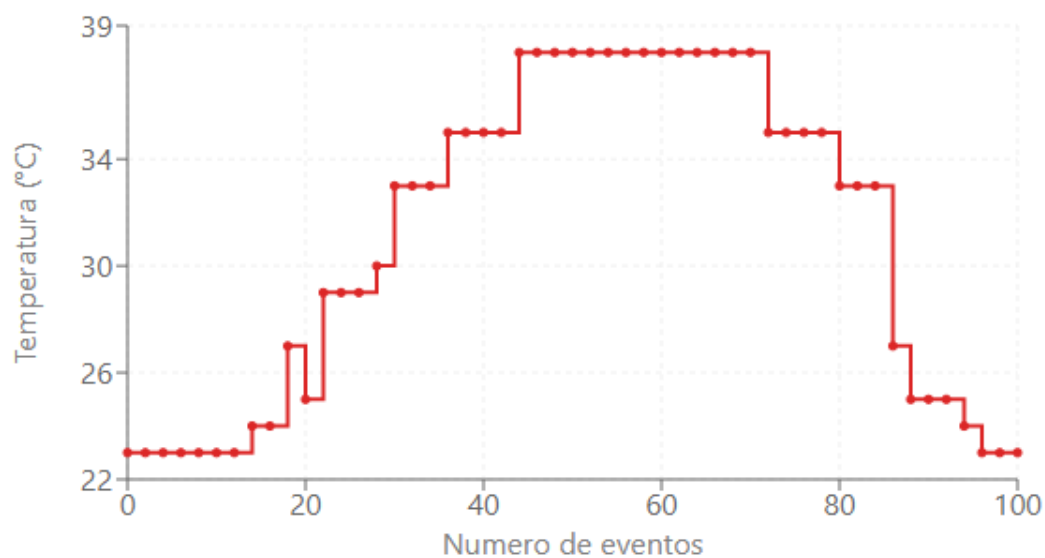


Figura 51- Mediciones de Temperatura del prototipo en el nivel 2. Fuente: Autor.

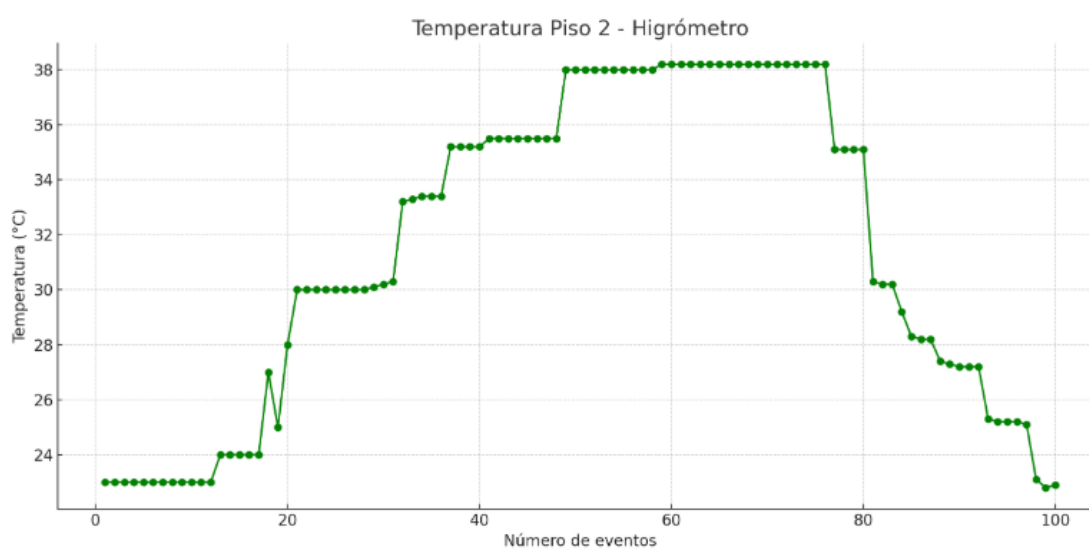


Figura 52- Mediciones de Temperatura del Nivel 2 usando un higrómetro. Fuente: Autor.

iii. **Toma de pruebas de la temperatura del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.**

En la Tabla 16 se muestra un resumen de la toma de datos de la temperatura del nivel 3, en la Figura 53 los datos del prototipo y en la Figura 54 los datos del higrómetro. Los 100 datos completos se encuentran en la Tabla 32 ubicada en el Anexo 5.

Temperatura Nivel 3-Prototipo/Higrómetro		
E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro
10	23	23
20	28	28
30	30	30.2
40	38	38.1
50	42	42.2

Tabla 16- Tabla resumen de datos de Temperatura del nivel 3. Fuente: Autor.

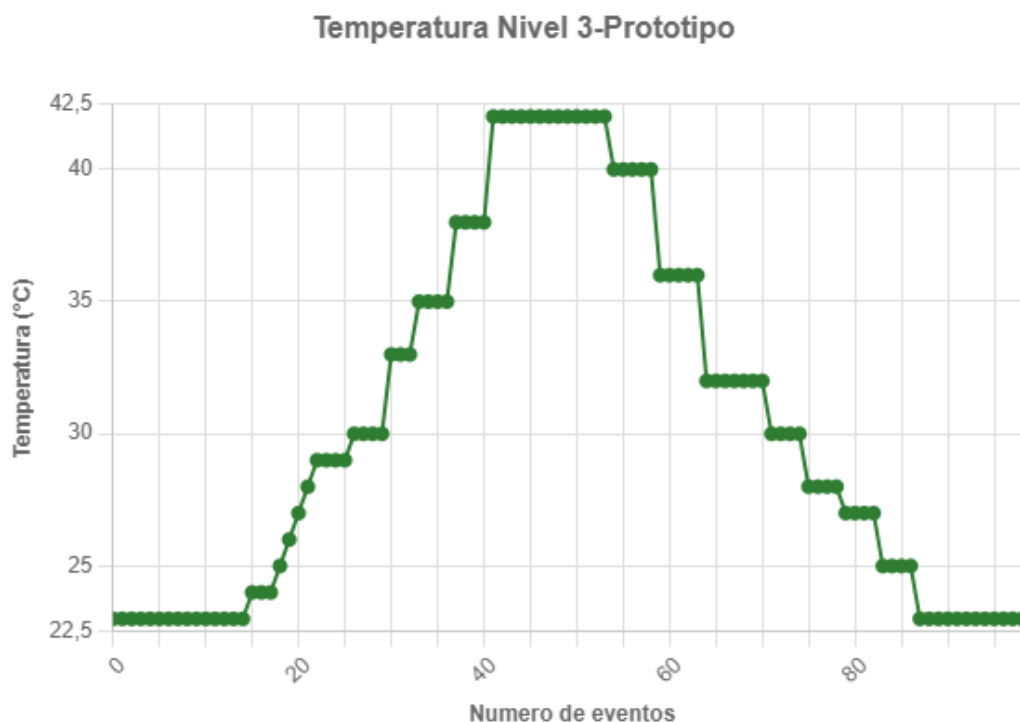


Figura 53- Mediciones de Temperatura del prototipo en el nivel 3. Fuente: Autor.

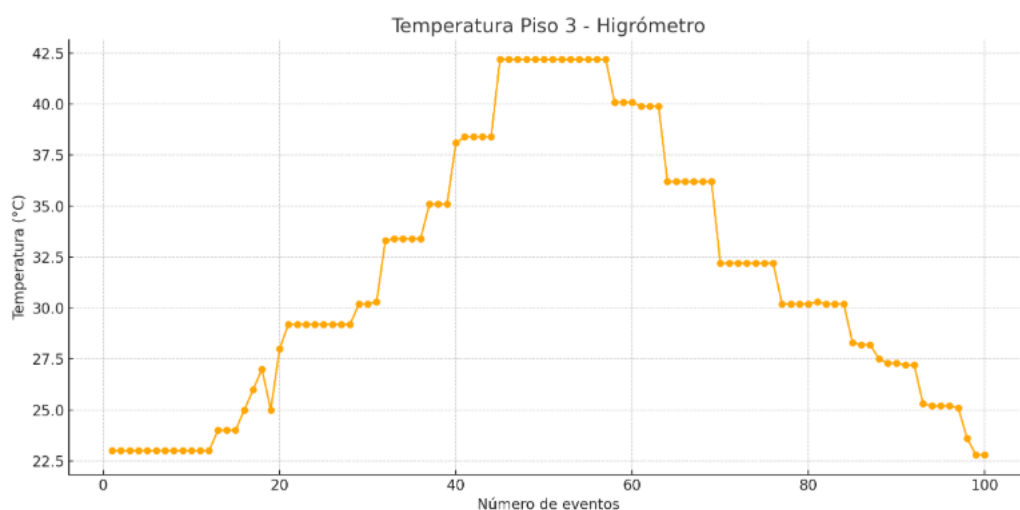


Figura 54-Mediciones de Temperatura del Nivel 3 usando un higrómetro. Fuente: Autor.

iv. Toma de pruebas de la humedad del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.

En la Tabla 17 se muestra un resumen de la toma de datos de la humedad del nivel 1, en la Figura 55 los datos del prototipo y en la Figura 56 los datos del higrómetro. Los 100 datos completos se encuentran en la Tabla 33 ubicada en el Anexo 5.

Humedad Nivel 1-Prototipo/Higrómetro		
E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro
10	70	70.2
20	69	69
30	69	68.8
40	66	66
50	69	69.1

Tabla 17- Tabla resumen de datos de Humedad del Nivel 1. Fuente: Autor.

Humedad Nivel 1-Prototipo

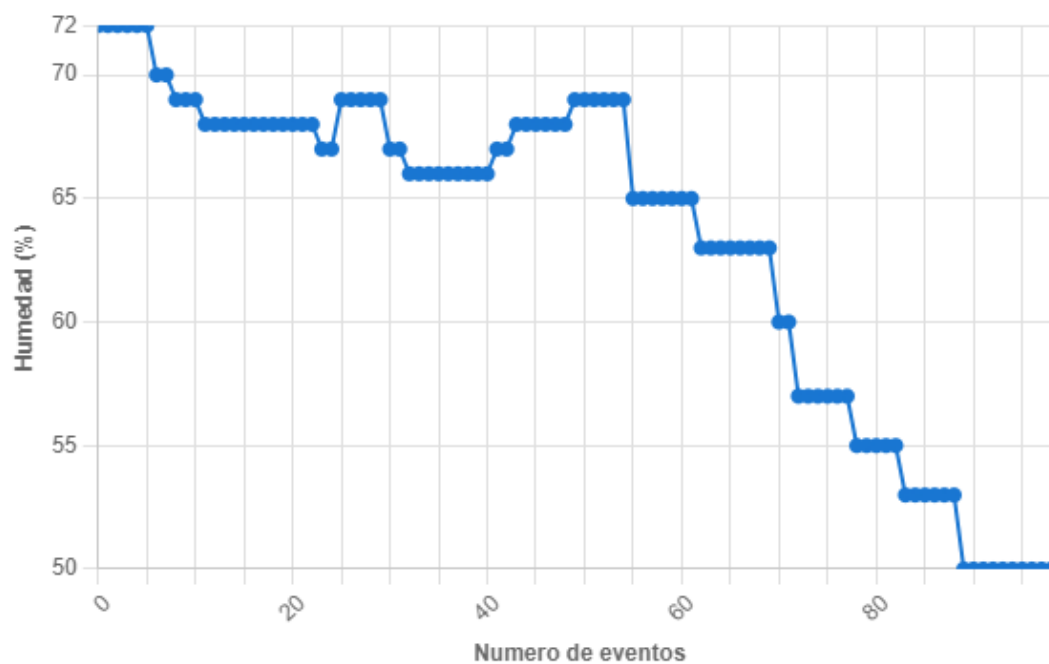


Figura 55-Mediciones de Humedad del prototipo en el nivel 1. Fuente: Autor.

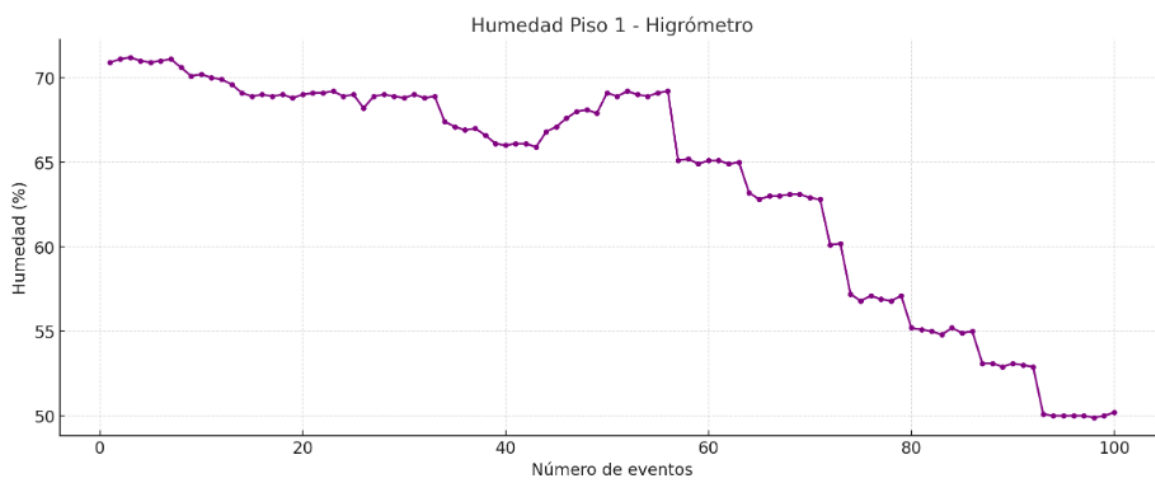


Figura 56-Mediciones de Humedad del Nivel 1 usando un higrómetro. Fuente: Autor.

v. **Toma de pruebas de la humedad del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.**

En la Tabla 18 se muestra un resumen de la toma de datos de la humedad del nivel 2, en la Figura 57 los datos del prototipo y en la Figura 58 los datos del higrómetro. Los 100 datos completos se encuentran en la Tabla 34 ubicada en el Anexo 5.

Humedad Nivel 2-Prototipo/Higrómetro		
E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro
10	70	70
20	69	69
30	68	68
40	66	66.5
50	69	67.6

Tabla 18- Tabla resumen de datos de Humedad del Nivel 2. Fuente: Autor.

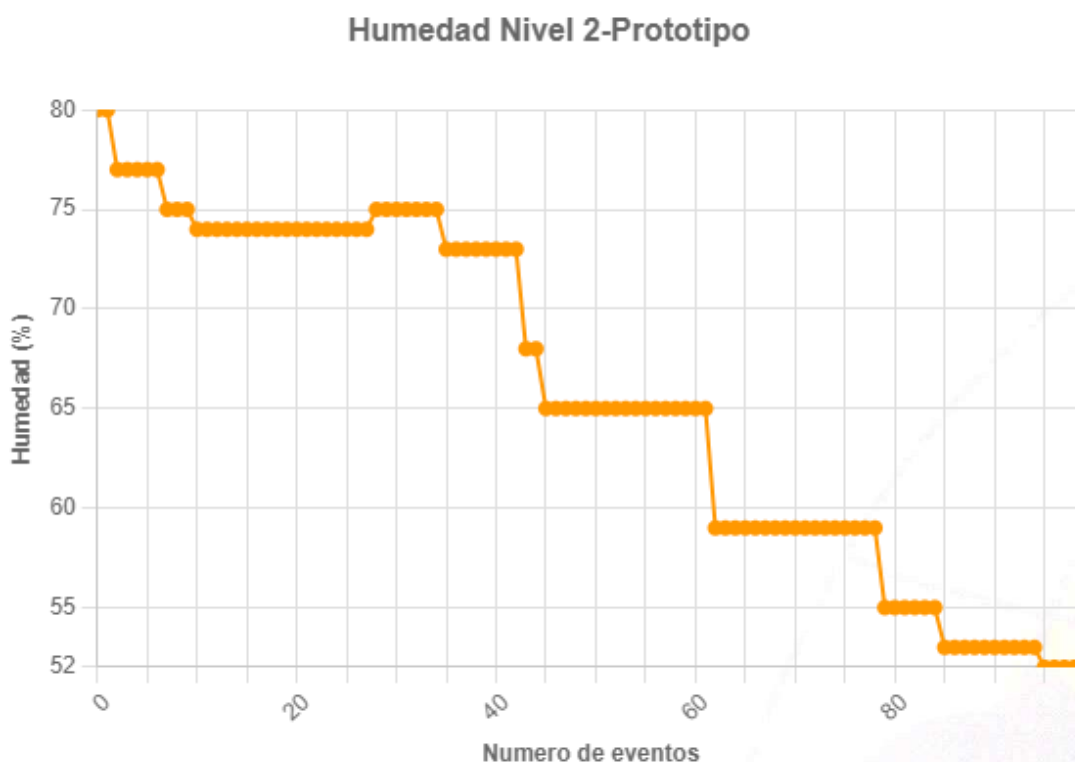


Figura 57-Mediciones de Humedad del prototipo en el nivel 2. Fuente: Autor.

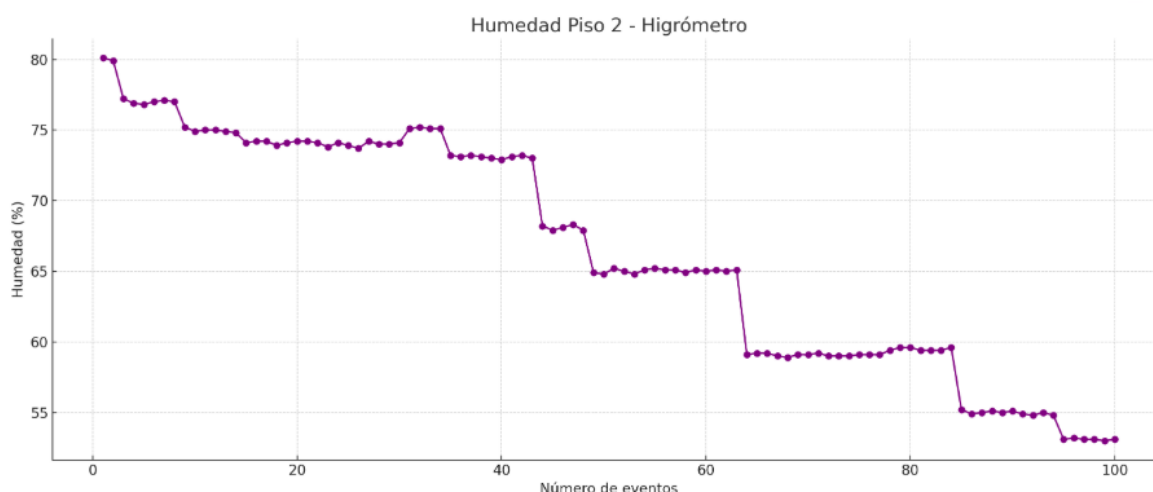


Figura 58-Mediciones de Humedad del Nivel 2 usando un higrómetro. Fuente: Autor.

vi. Toma de pruebas de la humedad del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.

En la Tabla 19 se muestra un resumen de la toma de datos de la humedad del nivel 3, en la Figura 59 los datos del prototipo y en la Figura 60 los datos del higrómetro. Los 100 datos completos se encuentran en la Tabla 35 ubicada en el Anexo 5.

Humedad Nivel 3-Prototipo/Higrómetro		
E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro
10	71	70.9
20	66	65.8
30	66	66
40	60	60.2
50	59	59.1

Tabla 19- Tabla resumen de datos de Humedad del Nivel 3. Fuente: Autor.

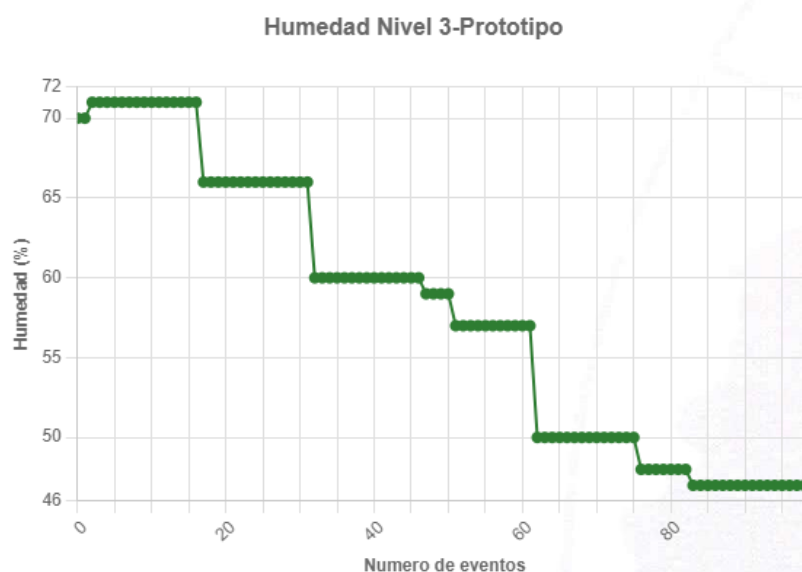


Figura 59-Mediciones de Humedad del prototipo en el nivel 3. Fuente: Autor.

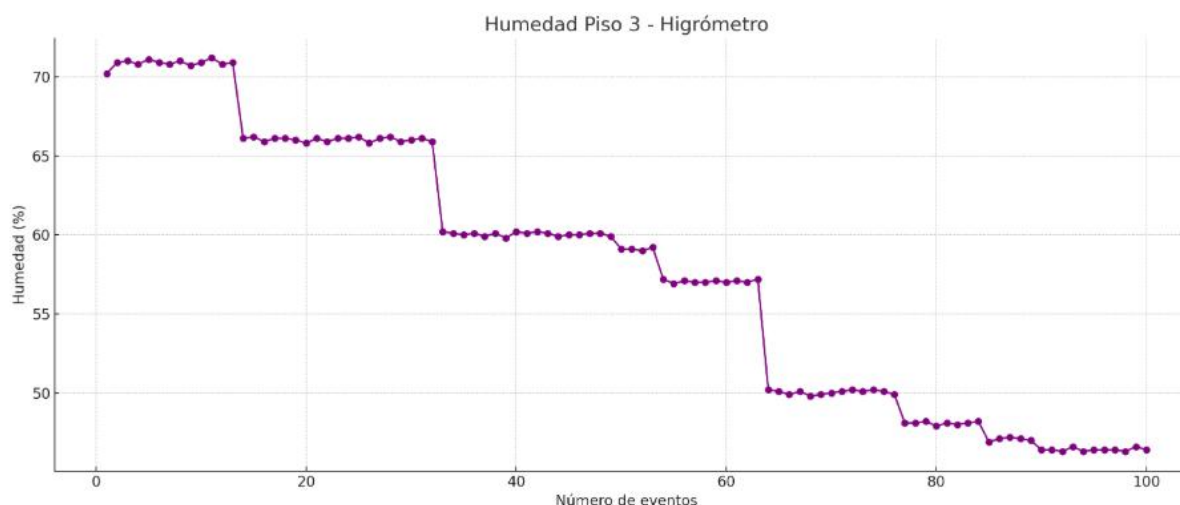


Figura 60-Mediciones de Humedad del Nivel 3 usando un higrómetro. Fuente: Autor.

- vii. **Toma de pruebas del consumo de corriente del prototipo, utilizando el sensor SCT-013-030 del prototipo y también el multímetro, realizada en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.**

En la Tabla 20 se muestra un resumen de la toma de datos del consumo de corriente del prototipo, en la Figura 61 se muestra los datos del sensor SCT-013-030 del prototipo y en la Figura 62 los datos obtenidos del multímetro. Los 100 datos completos se encuentran en la Tabla 36 ubicada en el Anexo 5.

Consumo de corriente -Prototipo/Multímetro		
E	Corr(A)-Prot	Corr(A)-Mult
10	0	0
20	2	1.9
30	2,5	2.4
40	3	3.1
50	3	3.1

Tabla 20-Tabla resumen de datos de Consumo de corriente del Prototipo, utilizando también el multímetro. Fuente: Autor.

Consumo de Corriente-Prototipo

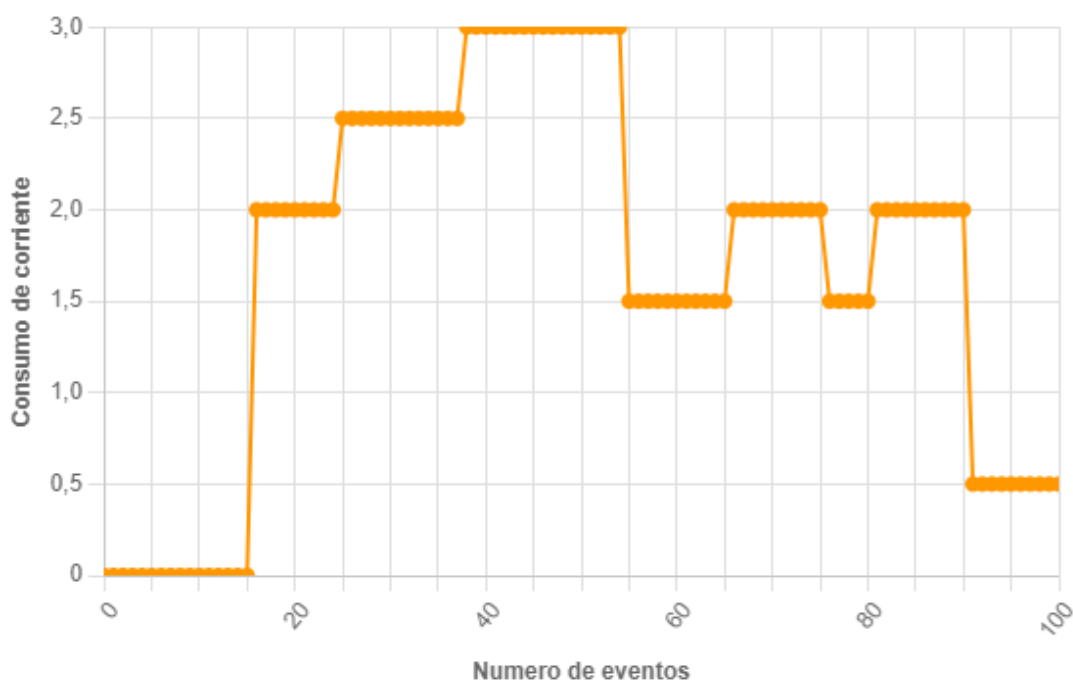


Figura 61- Mediciones del sensor de corriente del Prototipo. Fuente: Autor.

Consumo de Corriente - Multímetro

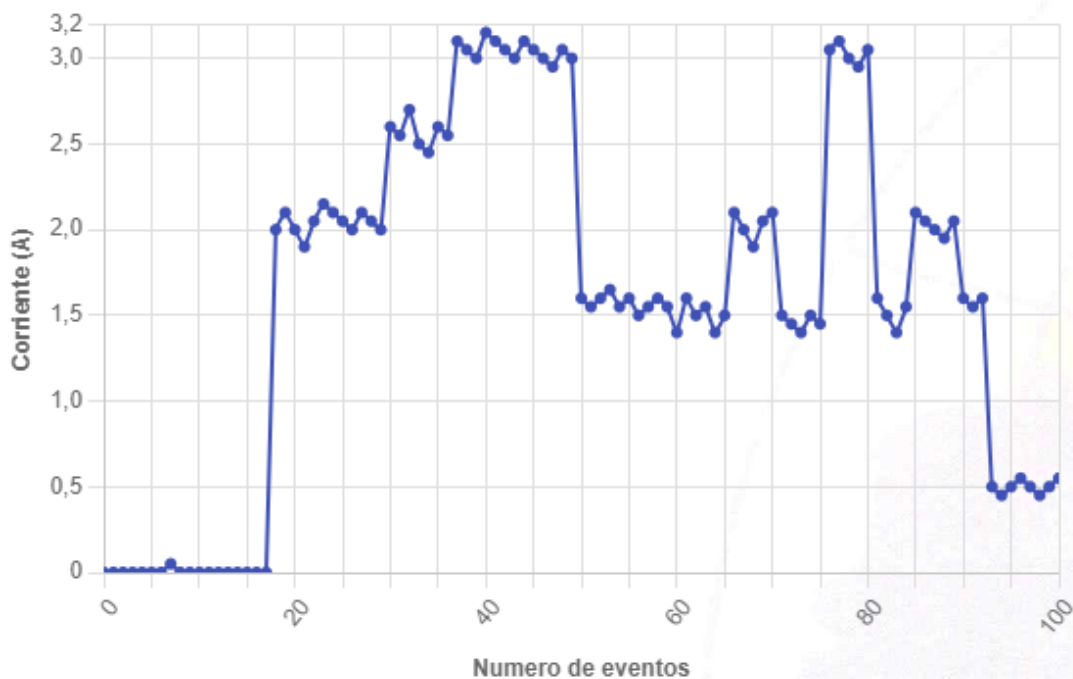


Figura 62- Mediciones de corriente del Prototipo con multímetro. Fuente: Autor.

XIII. Interpretación de resultados

1. Cálculo de promedios del nivel 1, 2 y 3 del prototipo realizado en el curso de comunicaciones inalámbricas.

Aquí se detalla el promedio final de los 3 niveles del prototipo para cada parámetro evaluado.

- **Cálculo del promedio de temperatura**

Para realizar el cálculo de promedio de temperatura se utiliza la ecuación 1.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$
$$\bar{X} = \frac{x1 + x2 + x3 + \dots + x100}{100}$$
$$\bar{X} = 23.08^{\circ}\text{C Temperatura}$$

- **Cálculo del promedio de humedad**

Para realizar el cálculo de promedio de humedad se utiliza la ecuación 1.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$
$$\bar{X} = \frac{x1 + x2 + x3 + \dots + x100}{100}$$
$$\bar{X} = 67.98 \% Humedad$$

- **Cálculo del promedio de consumo de corriente**

Para realizar el cálculo de promedio de consumo de corriente se utiliza la ecuación 1.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$
$$\bar{X} = \frac{x1 + x2 + x3 + \dots + x100}{100}$$
$$\bar{X} = 1.63 A$$

Con estos datos obtenidos por medio de los cálculos realizados se observa una media de temperatura de 23.08°C, humedad de 67.98% y un consumo de corriente de 1.63 A. Con lo cual se determina que los datos obtenidos están dentro de los rangos sugeridos para llevar en un datacenter.

1.1. Cálculo de promedios del nivel 1, 2 y 3 realizado en el curso de comunicaciones inalámbricas con los valores obtenidos del higrómetro y el multímetro los cuales son dispositivos de uso comercial y se usaron para esta toma de datos.

Aquí se detalla el promedio final de los 3 niveles del prototipo, usando el higrómetro y el multímetro para cada parámetro evaluado.

- **Cálculo del promedio de temperatura**

Para realizar el cálculo de promedio de temperatura se utiliza la ecuación 1.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$
$$\bar{X} = \frac{x1 + x2 + x3 + \dots + x100}{100}$$
$$\bar{X} = 23.5^{\circ}\text{C Temperatura}$$

- **Cálculo del promedio de humedad**

Para realizar el cálculo de promedio de humedad se utiliza la ecuación 1.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$
$$\bar{X} = \frac{x1 + x2 + x3 + \dots + x100}{100}$$
$$\bar{X} = 67.01 \% Humedad$$

- **Cálculo del promedio de consumo de corriente**

Para realizar el cálculo de promedio de consumo de corriente se utiliza la ecuación 1.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$
$$\bar{X} = \frac{x1 + x2 + x3 + \dots + x100}{100}$$
$$\bar{X} = 1.65 \text{ A}$$

2. En el datacenter de Megamaxi Ceibos. Se realizó la siguiente toma de datos, que permitió simular un escenario en la cual un datacenter no cuente con un sistema de regulación higrotérmico, además permitió comprobar el correcto funcionamiento del prototipo, se usaron datos de los niveles 1, 2 y 3 del prototipo.

Aquí se detalla el promedio final de los 3 niveles del prototipo para cada parámetro evaluado.

- **Cálculo del promedio de temperatura.**

Para realizar el cálculo de promedio de temperatura se utiliza la ecuación 1.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$
$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{100}}{100}$$
$$\bar{X} = 31.45^{\circ}\text{C}$$

- **Cálculo del promedio de humedad.**

Para realizar el cálculo de promedio de humedad se utiliza la ecuación 1.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$
$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{100}}{100}$$
$$\bar{X} = 66.77\%$$

- **Cálculo del promedio de consumo de corriente**

Para realizar el cálculo de promedio de consumo de corriente se utiliza la ecuación 1.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$
$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{100}}{100}$$
$$\bar{X} = 1.73\text{ A}$$

Con estos datos obtenidos por medio de los cálculos realizados se observa una media de temperatura del 31.45°C, humedad de 62.77% y un consumo de corriente de 1.73 A. Con lo cual se determina que comprobando y realizando pruebas, los datos aumentaron significativamente en especial los valores de temperatura en la humedad se tiene una tasa alta pero aun sostenible dentro de los valores sugeridos, y con el consumo de corriente aumento, pero no mucho con lo cual se tuvo valores por debajo del pico máximo que puede alcanzar el prototipo.

2.1. Cálculo de promedios del nivel 1, 2 y 3 realizado en el datacenter de Megamaxi Ceibos con los valores obtenidos del higrómetro y el multímetro los cuales son dispositivos de uso comercial y se usaron para esta toma de datos.

Aquí se detalla el promedio final de los 3 niveles del prototipo, usando el higrómetro y el multímetro para cada parámetro evaluado.

- **Cálculo del promedio de temperatura.**

Para realizar el cálculo de promedio de temperatura se utiliza la ecuación 1.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{x1 + x2 + x3 + \dots + x100}{100}$$

$$\bar{X} = 30.20^{\circ}\text{C}$$

- **Cálculo del promedio de humedad.**

Para realizar el cálculo de promedio de humedad se utiliza la ecuación 1.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{x1 + x2 + x3 + \dots + x100}{100}$$

$$\bar{X} = 63.50\%$$

- **Cálculo del promedio de consumo de corriente**

Para realizar el cálculo de promedio de consumo de corriente se utiliza la ecuación 1.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{x1 + x2 + x3 + \dots + x100}{100}$$

$$\bar{X} = 1.69\text{ A}$$

- En la Tabla 21 se detalla el promedio de los valores obtenidos del Curso de comunicaciones inalámbricas y del datacenter de Megamaxi Ceibos.

Promedios de datos						
	Temp(°C)-Prototipo	Temp(°C)-Higrometro	Hum(%)-Prototipo	Hum (%) -Higrometro	Corr(A)-Prototipo	Corr(A)-Multimetro
Comunicaciones inalámbricas	23.08	23.5	67.98	67.01	1.63	1.65
Datacenter megamaxi ceibos	31.45	30.20	66.77	63.50	1.73	1.69

Tabla 21- Tabla Promedios de datos. Fuente: Autor.

3. Cálculo del porcentaje de error del curso de comunicaciones inalámbricas en la universidad Politécnica Salesiana.

3.1. Cálculo del porcentaje de error del promedio de temperatura del curso de comunicaciones inalámbricas usando los datos que se obtuvieron del Sensor DHT11 del prototipo y los datos del Higrómetro.

$$Error = \left| \frac{V_{medido} - V_{real}}{V_{real}} \right| \times 100\%$$
$$Error = 1.79\%$$

3.2. Cálculo del porcentaje de error del promedio de humedad del curso de comunicaciones inalámbricas usando los datos que se obtuvieron del Sensor DHT11 del prototipo y los datos del Higrómetro.

$$Error = \left| \frac{V_{medido} - V_{real}}{V_{real}} \right| \times 100\%$$
$$Error = 1.45\%$$

3.3. Cálculo del porcentaje de error del promedio de consumo de corriente del curso de comunicaciones inalámbricas usando los datos que se obtuvieron del Sensor SCT-013-030 del prototipo y los datos del Higrómetro.

$$Error = \left| \frac{V_{medido} - V_{real}}{V_{real}} \right| \times 100\%$$
$$Error = 1.21\%$$

4. Cálculo del porcentaje de error realizado en el datacenter de Megamaxi Ceibos.

4.1. Cálculo del porcentaje de error del promedio de temperatura realizado en el datacenter de Megamaxi Ceibos usando los datos que se obtuvieron del Sensor DHT11 del prototipo y los datos del Higrómetro.

$$Error = \left| \frac{V_{medido} - V_{real}}{V_{real}} \right| \times 100\%$$
$$Error = 4.14\%$$

4.2. Cálculo del porcentaje de error del promedio de humedad realizado en el datacenter de Megamaxi Ceibos usando los datos que se obtuvieron del Sensor DHT11 del prototipo y los datos del Higrómetro.

$$Error = \left| \frac{V_{medido} - V_{real}}{V_{real}} \right| \times 100\%$$
$$Error = 5.15\%$$

4.3. Cálculo del porcentaje de error del promedio de consumo de corriente realizado en el datacenter de Megamaxi Ceibos usando los datos que se obtuvieron del Sensor SCT-013-030 del prototipo y los datos del Higrómetro.

$$Error = \left| \frac{V_{medido} - V_{real}}{V_{real}} \right| \times 100\%$$

$$Error = 2.37\%$$

- En la Tabla 22 se detalla el promedio de los porcentajes de error obtenidos del Curso de comunicaciones inalámbricas y del datacenter de Megamaxi Ceibos.

Promedios- Porcentaje de error(%)			
	Temperatura	Humedad	Corriente
Curso de comunicaciones inalámbricas	1.79	1.45	1.21
Datacenter megamaxi ceibos	4.14	5.15	2.37

Tabla 22- Tabla Promedios Porcentaje de error. Fuente: Autor.

XIV. Discusión

El artículo [4] presenta la importancia de tener en cuenta la evaluación de los niveles de temperatura y humedad, con resultados registrados y documentados.

Los valores de temperatura se midieron simultáneamente en la parte frontal y trasera de cada rack utilizando una placa de desarrollo Raspberry PI. Los resultados obtenidos se almacenaron en un archivo de texto, donde también se detallaba la ubicación de cada sensor en el centro de datos. En la Figura 18 y la Tabla 2 se tiene un ejemplo de las lecturas de temperatura obtenidos mediante el registro y análisis de datos.

Por el contrario, el trabajo llevado a cabo está enfocado en analizar y tomar los datos de mediciones realizadas en el entorno general del datacenter y no solo enfocar únicamente en la parte frontal o trasera como lo muestra el artículo [4]. Se destacan criterios como unidades de medida, niveles de temperatura, humedad y consumo de corriente, además de momentos indicados para la toma de mediciones.

Se enfatiza la importancia de considerar los posibles efectos nocivos de la exposición a altos niveles de temperatura, humedad y en caso de que exista un alto nivel de consumo de corriente afectando así de forma negativa a los equipos situados en el datacenter. También se está introduciendo el uso de equipos de medición, como el microcontrolador ESP32, el sensor DHT11 y el sensor de corriente SCT-013, para monitorear la temperatura, la humedad y el nivel de consumo de corriente con la finalidad de realizar un estudio en la Universidad

Politécnica Salesiana.

Se observa que ambos documentos resaltan la importancia de tratar la problemática de la temperatura y humedad en un datacenter mediante la implementación de normativas y mediciones específicas. Así también como la utilización de equipos de medición en tiempo real para analizar, controlar y evitar daños de los equipos ubicados en el datacenter. Ambos enfoques buscan mantener ambientes favorables para un centro de datos.

El artículo [44] se enfoca un marco avanzado para predecir riesgos térmicos en centros de datos utilizando modelos de aprendizaje profundo. Se introduce la metodología para definir anomalías térmicas y se presenta HazardNet, una serie de modelos que capturan la dependencia espacial y temporal de los parámetros operativos del centro de datos. El rendimiento del modelo se evaluó en dos escenarios: uno considerando todo el período de estudio con una puntuación F1 de 0,98 y otro aplicando causalidad en períodos disjuntos consecutivos con una puntuación F1 de 0,87.

Este artículo destaca la importancia de predecir los riesgos térmicos para evitar daños en los equipos e interrupciones del servicio. Los resultados experimentales validan la eficacia de HazardNet, y los autores ponen a disposición del público los datos y el código utilizados en el estudio para fomentar la transparencia y reproducibilidad.

En la Figura 19, se muestra la arquitectura de predictor de riesgo térmico propuesto por los autores del artículo [44], el predictor de riesgo térmico utiliza datos de series temporales de sensores en los nodos de cómputo para prever riesgos en las próximas horas. La entrada son las series temporales de temperatura y consumo de energía de los nodos, y la salida es una clasificación binaria: riesgo inminente probable o no. La arquitectura se compone de tres componentes principales: recopilación y almacenamiento de datos basada en ExaMon, análisis de riesgo térmico (extracción y preprocesamiento de datos, generación de etiquetas), y el sistema de predicción impulsado por IA. Utiliza herramientas de aprendizaje automático y profundo para generar etiquetas y hacer predicciones de riesgos térmicos.

Por el contrario, en el trabajo llevado a cabo se buscó analizar y tomar los datos en tiempo real mediante intervalos de tiempo que permitían llevar un registro de como varía la temperatura, humedad y consumo de corriente en relación con el tiempo y al área en donde se encontraba ubicada el datacenter, que permitía controlar y evitar posibles daños en los equipos. Mientras que en el artículo [44] se destaca la importancia de predecir los riesgos térmicos para evitar daños en los equipos e interrupciones del servicio mediante un sistema de predicción impulsado por IA como se muestra en la Figura 19.

Si bien se resalta que ambos documentos buscan prevenir posibles daños o fallas en los equipos mediante la toma de datos, el artículo [44] no cuenta con un sistema de evaluación y toma de

datos en tiempo real lo cual podría afectar su aplicabilidad práctica. Además de que necesita una mayor validación práctica también el uso específico de herramientas como ExaMon podría limitar su aplicabilidad en diversos centros de datos.

El artículo [45] muestra que se operan los centros de datos a temperaturas de hasta 35°C, utilizando economizadores, donde se puede reducir considerablemente los costos operativos y las emisiones de energía. Este estudio utiliza modelado CFD para demostrar que prácticas como el uso de paneles de obturación, la disposición adecuada del suelo, la eliminación de obstrucciones de cables y la contención de pasillos fríos/calientes son esenciales para preparar los centros de datos para operaciones a alta temperatura.

Como se observa en la Figura 20 hay un incremento en la potencia del servidor que varía entre 0% y 6% al subir la temperatura de 25 °C a 40 °C. El modelado CFD ha mostrado que estas estrategias permiten operar a temperaturas de hasta 35 °C con economizadores, logrando una reducción significativa en el consumo de energía para refrigeración.

En la Tabla 14, se muestran datos de la temperatura que exceden los 35°C y con una variabilidad alta, define directrices esenciales para la gestión térmica en centros de datos. Proporciona rangos recomendados y permitidos de temperatura y humedad para garantizar la fiabilidad y eficiencia de los equipos de TI.

Actualmente no existe un consenso sobre los niveles ideales de temperatura y humedad para un datacenter, pero existen algunas recomendaciones para que la temperatura se sitúe entre de 18°C y 27°C, la humedad del aire entre 40 y 55% y el consumo de corriente para un prototipo con elementos como: sensores, placas electrónicas o ventiladores, lo normal es que el consumo esté entre 0.1 y 1.5 amperios.

Los resultados obtenidos en este análisis indican que las zonas del campus Centenario de la UPS donde se realizaron las pruebas, mantienen niveles de temperatura y humedad apropiados para un datacenter. Sin embargo, se recomienda implementar medidas de seguridad para monitorear y regular las condiciones ambientales, con el objetivo de garantizar un entorno seguro para los equipos ubicados en los centros de datos.

XV. Conclusiones

A partir del análisis de los datos recopilados en el Curso de Comunicaciones Inalámbricas del Campus Centenario de la Universidad Politécnica Salesiana y en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos, se determinó que, en la mayoría de los registros (Tablas 23 a 36), los niveles de temperatura, humedad y consumo de corriente se mantuvieron dentro de los rangos operativos recomendados para un datacenter. No obstante, se identificó una excepción

relevante en la Tabla 9, correspondiente al curso de Comunicaciones Inalámbricas, donde durante las sesiones prácticas se registraron valores superiores a los límites recomendados los cuales son: temperatura entre 18 °C y 27 °C, humedad relativa entre 40 % y 55 %, y consumo de corriente entre 1,5 A y 2 A. Estas condiciones podrían generar un ambiente poco favorable para la operación segura y eficiente del centro de datos.

El estudio evidencia la importancia de realizar evaluaciones periódicas de las condiciones higrotérmicas y del consumo energético, con el fin de prevenir fallos y prolongar la vida útil de los equipos. Asimismo, los datos obtenidos permiten implementar medidas preventivas y correctivas específicas para garantizar la estabilidad de las condiciones ambientales.

Se concluye que las mediciones realizadas con el prototipo desarrollado demostraron un alto grado de precisión y confiabilidad, validando su efectividad como herramienta de monitoreo en tiempo real. Ya que se lo comparó con los dispositivos comerciales como el Higrómetro y el multímetro, como se demuestra en el porcentaje de error del promedio de temperatura del datacenter de Megamaxi Ceibos, y que arroja un valor de 2.992%.

De este modo, se confirma que la solución propuesta es capaz de proporcionar información crítica para la gestión preventiva y el mantenimiento óptimo de infraestructuras de centros de datos.

XVI. Recomendaciones

Se aconseja llevar un control del entorno para ello se puede usar puertas herméticas o dispositivos de ventilación que ayuden a minimizar la influencia del ambiente externo. Debido a las restricciones del sensor DHT11 y su baja velocidad de respuesta, no se pueden obtener resultados más precisos, por lo que es necesario incorporar un sensor de mayor sensibilidad para mejorar la precisión de las mediciones.

Considerando la importancia de evaluar la temperatura y humedad en un datacenter real, se recomienda implementar procedimientos de medición de forma regular para analizar la exposición de los equipos y evitar daños. Los datos obtenidos en estas evaluaciones serán claves para desarrollar estrategias específicas que contribuyan a mejorar los espacios donde se ubique un datacenter.

XVII. Bibliografía

- [1] D. H. De La Iglesia, J. F. De, P. Santana, A. J. López, y R. Editors, “Advances in Intelligent Systems and Computing 1459 New Trends in Disruptive Technologies, Tech Ethics, and Artificial Intelligence The DITTET 2024 Collection”.
- [2] B. Han, Z. Liang, Y. Huang, M. Qin, y F. Xiong, “Research on Collaborative Storage of Data Based on IPFS and Blockchain”, en *IEEE Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference, ITNEC*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2024, pp. 391–396. doi: 10.1109/ITNEC60942.2024.10733272.
- [3] M. R. C. Truşcă, Ş. Albert, F. Fărcaş, M. L. Soran, y M. Abrudean, “Power Consumption Monitoring in ITIM Datacenter”. [En línea]. Disponible en: <http://www.openxtra.co.uk/articles/monitoring-temperature-server-room>
- [4] J. Nagy, M. R. C. Trusca, S. Albert, F. Farcas, y C. A. Lupse, “Experimental Control of Thermal Processes Inside the Datacenter”, en *2022 23rd IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics - THETA, AQTR 2022 - Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. doi: 10.1109/AQTR55203.2022.9802049.
- [5] *Twenty Eighth Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium : SEMI-THERM : proceedings 2012, San Jose, CA USA, March 18-22, 2012*. IEEE, 2012.
- [6] J. Nagy, M. R. C. Trusca, V. Zarbo, F. Farcas, y C. Lupse, “Automation of Thermal Processes in a Datacenter. Experimental Control Using Cloud Based Platform and PLC”, en *15th International Conference on Advanced Scientific Computing, ICASC 2024*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2024. doi: 10.1109/ICASC63229.2024.10784622.
- [7] J. Nagy, M. R. C. Trusca, C. A. Lupse, F. Farcas, y L. V. Zarbo, “Experimental Control of Thermal Processes to Increase the Availability and Reliability in Datacenters”, en *14th International Conference on Advanced Scientific Computing, ICASC 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023. doi: 10.1109/ICASC58845.2023.10328022.
- [8] M. S. Ardebili, A. Acquaviva, L. Benini, y A. Bartolini, “HazardNet: A thermal hazard prediction framework for datacenters”, *Future Generation Computer Systems*, vol. 155, pp. 340–353, 2024, doi: 10.5281/zenodo.1.
- [9] Institute of Electrical and Electronics Engineers, *Proceeding of 2020 the 6th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT) : 3-4 September 2020, Yogyakarta and Bandung, Indonesia*.
- [10] A. Kot, A. Nawrocka, IEEE Industry Applications Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers, y Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie. Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. Department of Process Control, *Proceedings of the 2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC) : Kraków - Wieliczka, Hotel Turówka, Poland, May 26-29, 2019*.
- [11] B. Birla Institute of Applied Sciences, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Uttar Pradesh Section, y Institute of Electrical and Electronics Engineers, *Proceedings, 2018 3rd International Conference On Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU) : 23-24 February, 2018 Birla Institute of Applied Sciences Bhimtal, Nainital, Uttarakhand (India)*.
- [12] “ESP32 Formats and Communication Application of Communication Protocols with ESP32 Microcontroller-Neil Cameron”. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/>
- [13] “ESP32 Formats and Communication Application of Communication Protocols with ESP32 Microcontroller-Neil Cameron”. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/>

- [14] P. F. P. S. Marek Babiuch, "Using the ESP32 microcontroller for data processing", en *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, may 2019, pp. 88–93.
- [15] Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2018 IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering (CCECE)*.
- [16] M. J. Espinosa-Gavira, A. Agüera-Pérez, J. C. Palomares-Salas, J. M. Sierra-Fernandez, P. Remigio-Carmona, y J. J. González de-La-Rosa, "Characterization and Performance Evaluation of ESP32 for Real-time Synchronized Sensor Networks", en *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2024, pp. 261–268. doi: 10.1016/j.procs.2024.05.104.
- [17] H. J. El-Khozondar *et al.*, "A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller", *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 9, sep. 2024, doi: 10.1016/j.prime.2024.100666.
- [18] A. Abu Sneineh y A. A. A. Shabaneh, "Design of a smart hydroponics monitoring system using an ESP32 microcontroller and the Internet of Things", *MethodsX*, vol. 11, dic. 2023, doi: 10.1016/j.mex.2023.102401.
- [19] Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Industry Applications Society, y Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, *2010 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications : INDUSCON 2010 : November 8-10, 2010, São Paulo, Brazil*.
- [20] A. A. Voloshin, E. A. Voloshin, A. I. Kovalenko, S. A. Danilov, D. A. Degtyarev, y V. S. Sazanov, "System of Automatic Change of Relay Protection Operation Parameters in Distribution Networks", en *2021 4th International Youth Scientific and Technical Conference Relay Protection and Automation, RPA 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. doi: 10.1109/RPA53216.2021.9628667.
- [21] V. S. Sazanov, A. I. Kovalenko, A. A. Voloshin, S. A. Danilov, E. A. Voloshin, y D. A. Degtyarev, "The Development of System for Automatic Adaptive Change of Relay Protection Settings in Distribution Networks", en *2022 5th International Youth Scientific and Technical Conference Relay Protection and Automation, RPA 2022*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. doi: 10.1109/RPA57581.2022.9951121.
- [22] W. Guo y X. Hou, "Research on the analysis method of power system relay protection action characteristics based on fault recording data", *J Radiat Res Appl Sci*, vol. 17, núm. 3, p. 101005, sep. 2024, doi: 10.1016/j.jrras.2024.101005.
- [23] Y. Doi, "DNS meets DHT: Treating Massive ID Resolution Using DNS Over DHT".
- [24] P. MacHeso, T. D. Manda, S. Chisale, N. Dzupire, J. Mlatho, y D. Mukanyiligira, "Design of ESP8266 Smart Home Using MQTT and Node-RED", en *Proceedings - International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems, ICAIS 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., mar. 2021, pp. 502–505. doi: 10.1109/ICAIS50930.2021.9396027.
- [25] Z. Wang y S. Chen, "BER performance analysis of an OFDM-based visible light communication system using DHT post-coding", *Optoelectron Lett*, vol. 18, núm. 5, pp. 288–292, may 2022, doi: 10.1007/s11801-022-1160-4.
- [26] N. Kruber, M. Höggqvist, y T. Schütt, "The benefits of estimated global information in DHT load balancing", en *Proceedings - 11th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing, CCGrid 2011*, 2011, pp. 382–391. doi: 10.1109/CCGrid.2011.11.
- [27] M. Usman y X.-Z. Gao, Eds., *Embracing Machines and Humanity Through Cognitive Computing and IoT*. en *Advanced Technologies and Societal Change*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. doi: 10.1007/978-981-19-4522-9.
- [28] F. Irwanto *et al.*, "IoT and fuzzy logic integration for improved substrate environment management in mushroom cultivation", *Smart Agricultural Technology*, vol. 7, mar.

- 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100427.
- [29] P. L. dos Santos, T. P. A. Perdicoulis, P. A. Salgado, y J. C. Azevedo, “Kalman filter for noise reduction of Li-Ion cell discharge current”, en *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier B.V., jul. 2023, pp. 9582–9587. doi: 10.1016/j.ifacol.2023.10.261.
 - [30] H. Mubarak y A. Ardiansyah, “Prototype Design of IoT (Internet of Things)-based Load Monitoring System”, en *2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems, ISRITI 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., dic. 2020, pp. 377–382. doi: 10.1109/ISRITI51436.2020.9315454.
 - [31] A. Garbev, “Possibilities for Visual Programming in Robotics via Node-RED”, en *International Conference Automatics and Informatics, ICAI 2022 - Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022, pp. 367–371. doi: 10.1109/ICAIS5857.2022.9960113.
 - [32] L. P. Chitra y R. Satapathy, “Performance Comparison and Evaluation Of Node.js And Traditional Web Server (IIS)”.
 - [33] D. Fatemeh, Y. Li, B. A. Firouz, y S. Abdallah, “On TinyML and Cybersecurity: Electric Vehicle Charging Infrastructure Use Case”, 2024, *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.* doi: 10.1109/ACCESS.2024.3437192.
 - [34] P. Tripathi, M. H. Miraz, y S. Joshi, “Comparative Analysis of MongoDB and InfluxDB for Time Series Data Management in IoT Environments: A Study on Performance, Scalability, and Concurrency”, en *Proceedings - 2023 International Conference on Computing, Networking, Telecommunications and Engineering Sciences Applications, CoNTESA 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 39–42. doi: 10.1109/CoNTESA61248.2023.10384962.
 - [35] S. Kiresova, M. Guzan, B. Fecko, O. Somka, V. Rusyn, y R. Yatsiuk, “Grafana as a Visualization Tool for Measurements”, en *Proceedings of the 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023. doi: 10.1109/MEES61502.2023.10402486.
 - [36] P. S. Akshatha y S. M. D. Kumar, “Delay Estimation of Healthcare Applications Based on MQTT Protocol: A Node-RED Implementation”, en *2022 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies, CONECCT 2022*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. doi: 10.1109/CONECCT55679.2022.9865759.
 - [37] J. Folgueras Méndez *et al.*, “IFMBE Proceedings 33 - V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16th-21st, 2011, Habana, Cuba”, 2011. [En línea]. Disponible en: <http://www.ifmbe.org>
 - [38] M. A. R. P. C. P. J. Zidek, “Humidity Sensors for High Energy Physics Applications: A Review”, *IEEE Sens J*, 2023.
 - [39] S. B. M. M. Anand, “Design and implementation of smart digital multimeter using embedded system”, *IEEE*, pp. 1178–1182, dic. 2017.
 - [40] O. Hutajulu, M. Mendoza, y Y. Simamora, “Feasibility Study of Smart House Design with ESP32 and Telegram in a Simple House”, en *Proceedings of the 4th International Conference on Innovation in Education, Science and Culture, ICIESC 2022, 11 October 2022, Medan, Indonesia, EAI*, 2022. doi: 10.4108/eai.11-10-2022.2325332.
 - [41] A. S. ; S. N. P. ; B. M. S. ; K. A. A. ; D. N. S. Shaikh, “An IoT-Based Real Time Temperature and Humidity Monitoring and Data Logging System Using ESP32”, *IEEE*, pp. 1219–1223, 2023.
 - [42] M. D. Martín-Díaz y E. G. Fernández-Abascal, “Multidimensional Measure of Well-Being, Translation, Factor Structure, Measurement Invariance, Reliability and Validity of the PERMA-Profilier in Spain”, *Appl Res Qual Life*, oct. 2024, doi: 10.1007/s11482-024-10342-9.

- [43] R. (ed.) Ferrero, “ Measurement and error analysis in electronic instrumentation”, *IEEE*, vol. 74, pp. 1234–1245, 2025.
- [44] M. M. F. T. D. B. D. D. S. M. T. Danilo Raho, “HazardNet: A Deep Learning Framework for Spatio-Temporal Thermal Risk Prediction in Data Centers”, *IEEE Transactions on Computers*, vol. 73, núm. 3, pp. 545–558, mar. 2024.
- [45] P. & M. T. Society. Components y National Institute of Standards and Technology (U.S.), *Twenty Eighth Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium : SEMI-THERM : proceedings 2012, San Jose, CA USA, March 18-22, 2012*. IEEE, 2012.

XVIII. Anexo

Anexo 1

A continuación, se adjunta el código de programación en la cual se muestra la configuración de todos los equipos y sensores que se usaron en este prototipo.

```
#include <Arduino.h>
#include "DHT.h"
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <ArduinoJson.h>

i. // Configuración de 3 sensores DHT11
#define DHT1_PIN 4
#define DHT2_PIN 16
#define DHT3_PIN 17
#define DHTTYPE DHT11

DHT dht1(DHT1_PIN, DHTTYPE);
DHT dht2(DHT2_PIN, DHTTYPE);
DHT dht3(DHT3_PIN, DHTTYPE);

ii. // Configuración de 3 relés para ventiladores
#define RELAY1_PIN 2 // Ventilador 1
#define RELAY2_PIN 18 // Ventilador 2
#define RELAY3_PIN 19 // Ventilador 3

#define SCT013_PIN 34 // Pin analógico donde está conectado el SCT013
#define SCT013_VOLTAGE_REF 3.3 // Voltaje de referencia del ESP32
#define SCT013_ADC_RESOLUTION 4095 // Resolución del ADC (12 bits)
#define SCT013_SENSITIVITY 1.0 // 30A/1V = 1V por cada 30A
#define SCT013_MAX_CURRENT 30.0 // Corriente máxima del sensor
#define NUM_SAMPLES_SCT013 1000 // Número de muestras para RMS

// Temperaturas umbral para cada zona
#define TEMP_UMBRAL_1 30.0 // Zona 1
#define TEMP_UMBRAL_2 30.0 // Zona 2
#define TEMP_UMBRAL_3 30.0 // Zona 3

iii. // Configuración WiFi

const char* ssid = "HONOR";
const char* password = "crithian";

iv. // Configuración MQTT
const char* mqtt_server = "broker.hivemq.com";
```

```
const char* mqtt_topic = "esp32/vargas/dht11"; // Un solo tópic para todo
const int mqtt_port = 1883;

// Cliente WiFi y MQTT
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);

// Variables para control de tiempo
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 5000;

v. // Arrays para manejar los 3 sistemas
float temperaturas[3] = {0, 0, 0};
float humedades[3] = {0, 0, 0};
bool ventiladores_activos[3] = {false, false, false};
bool estados_anteriores[3] = {false, false, false};
float umbrales[3] = {TEMP_UMBRAL_1, TEMP_UMBRAL_2, TEMP_UMBRAL_3};
int relay_pins[3] = {RELAY1_PIN, RELAY2_PIN, RELAY3_PIN};

float currentConsumption = 0.0;

// Contadores para debugging
int conexiones_fallidas = 0;
int lecturas_exitosas = 0;

// Declaración de funciones
void setup_wifi();
void reconnect();
void leerSensores();
void controlVentiladores();
float readCurrentSCT013(); // Nueva función para SCT013
void sendAllSensorData();
DHT* getSensor(int index);

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    // Pequeña pausa para estabilizar el sistema
    delay(2000);

vi. // Configurar pines de los relés
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        pinMode(relay_pins[i], OUTPUT);
        digitalWrite(relay_pins[i], LOW); // Inicializar relés apagados
    }
```

```
// Inicializar sensores DHT11
dht1.begin();
dht2.begin();
dht3.begin();
```

vii.

```
// Configurar pin del SCT013
```

```
// Conectar a WiFi
setup_wifi();
```

viii.

```
// Configurar MQTT con buffer más grande
```

```
client.setBufferSize(1024); // Buffer más grande para 3 sensores
client.setServer(mqtt_server, mqtt_port);

Serial.println("=== SISTEMA INICIADO ===");
Serial.println("3 Sensores DHT11 + 3 Ventiladores + 1 Sensor
SCT013");
Serial.printf("Zona 1 - Sensor: Pin %d | Relé: Pin %d | Umbral:
%.1f°C\n",
              DHT1_PIN, RELAY1_PIN, TEMP_UMBRAL_1);
Serial.printf("Zona 2 - Sensor: Pin %d | Relé: Pin %d | Umbral:
%.1f°C\n",
              DHT2_PIN, RELAY2_PIN, TEMP_UMBRAL_2);
Serial.printf("Zona 3 - Sensor: Pin %d | Relé: Pin %d | Umbral:
%.1f°C\n",
              DHT3_PIN, RELAY3_PIN, TEMP_UMBRAL_3);
Serial.printf("Sensor de Corriente SCT013: Pin %d (Analógico)\n",
SCT013_PIN);
Serial.println("=====");
}

void setup_wifi() {
  delay(10);
  Serial.println();
  Serial.print("Conectando a WiFi: ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, password);

  int intentos = 0;
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && intentos < 20) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
    intentos++;
  }
```

```
if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi conectado!");
  Serial.print("Dirección IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  Serial.print("Intensidad de señal: ");
  Serial.print(WiFi.RSSI());
  Serial.println(" dBm");
} else {
  Serial.println("");
  Serial.println("Error: No se pudo conectar a WiFi");
  Serial.println("Reiniciando en 10 segundos...");
  delay(10000);
  ESP.restart();
}
}

void reconnect() {
  int intentos = 0;
  while (!client.connected() && intentos < 3) {
    Serial.print("Intentando conexión MQTT... ");

    // Generar un ID de cliente único
    String clientId = "ESP32-3DHT11-";
    clientId += String(random(0xffff), HEX);

    if (client.connect(clientId.c_str())) {
      Serial.println("✓ Conectado al broker MQTT");
      conexiones_fallidas = 0;
    } else {
      Serial.print("X Error, código: ");
      Serial.print(client.state());
      Serial.println(" - Reintentando en 5 segundos");
      delay(5000);
      intentos++;
      conexiones_fallidas++;
    }
  }
}

if (!client.connected() && conexiones_fallidas > 10) {
  Serial.println("Demasiados errores MQTT. Reiniciando...");
  delay(5000);
  ESP.restart();
}
}

DHT* getSensor(int index) {
```

```
switch(index) {
    case 0: return &dht1;
    case 1: return &dht2;
    case 2: return &dht3;
    default: return &dht1;
}
}

void leerSensores() {
    bool todas_lecturas_validas = true;

    for (int zona = 0; zona < 3; zona++) {
        DHT* sensor = getSensor(zona);
        float temp = NAN;
        float hum = NAN;

        // Intentar leer 3 veces cada sensor
        for (int i = 0; i < 3; i++) {
            temp = sensor->readTemperature();
            hum = sensor->readHumidity();

            if (!isnan(temp) && !isnan(hum)) {
                break;
            }
            delay(100);
        }

        // Verificar si las lecturas son válidas
        if (isnan(temp) || isnan(hum)) {
            Serial.printf("X Error leyendo sensor zona %d\n", zona + 1);
            todas_lecturas_validas = false;
            continue;
        }

        // Validar rangos
        if (temp < -40 || temp > 80 || hum < 0 || hum > 100) {
            Serial.printf("X Zona %d: Lecturas fuera de rango\n", zona + 1);
            todas_lecturas_validas = false;
            continue;
        }

        // Guardar lecturas válidas
        temperaturas[zona] = round(temp * 100.0) / 100.0;
        humedades[zona] = round(hum * 100.0) / 100.0;
    }

    // --- NUEVA LECTURA DEL SENSOR SCT013 ---
}
```

```
currentConsumption = readCurrentSCT013();

if (!todas_lecturas_validas) {
    Serial.println("⚠ Advertencia: Algunas lecturas de sensores fallaron");
}
}

// --- NUEVA FUNCIÓN PARA LEER EL SCT013 ---
float readCurrentSCT013() {
    long sum = 0;

    // Tomar muestras para calcular RMS
    for (int i = 0; i < NUM_SAMPLES_SCT013; i++) {
        int analogValue = analogRead(SCT013_PIN);
        sum += analogValue * analogValue;
        delayMicroseconds(100);
    }

    // Calcular valor RMS
    float rms = sqrt((float)sum / NUM_SAMPLES_SCT013);

    // Convertir a voltaje
    float voltage = (rms / SCT013_ADC_RESOLUTION) * SCT013_VOLTAGE_REF;

    float current = voltage * SCT013_MAX_CURRENT;

    // Filtrar ruido - valores muy pequeños los consideramos como 0
    if (current < 0.1) {
        current = 0.0;
    }

    return current;
}

void controlVentiladores() {
    for (int zona = 0; zona < 3; zona++) {
        // Guardar estado anterior
        estados_anteriores[zona] = ventiladores_activos[zona];

        float temp = temperaturas[zona];
        float umbral = umbrales[zona];

        // Lógica de control con histéresis
        if (temp >= umbral && !ventiladores_activos[zona]) {
            // Activar ventilador
            ventiladores_activos[zona] = true;
        }
    }
}
```

```
digitalWrite(relay_pins[zona], HIGH);
Serial.printf("🔌 ZONA %d - VENTILADOR ACTIVADO | Temp: %.2f°C
(>= %.1f°C)\n",
              zona + 1, temp, umbral);
}
else if (temp < (umbral - 1.0) && ventiladores_activos[zona]) {
    // Desactivar ventilador (histéresis de 1°C)
    ventiladores_activos[zona] = false;
    digitalWrite(relay_pins[zona], LOW);
    Serial.printf("❄️ ZONA %d - VENTILADOR DESACTIVADO | Temp:
%.2f°C (< %.1f°C)\n",
                  zona + 1, temp, umbral - 1.0);
}
}
}

void sendAllSensorData() {
    // Crear JSON con todos los datos de las 3 zonas
    // Usamos JsonDocument directamente para evitar warnings de
    deprecación
    JsonDocument doc; // Aumentamos el tamaño del documento JSON. Use
    dynamic if you need more flexibility or StaticJsonDocument<X> for fixed
    size.

    // Información general del dispositivo
    doc["dispositivo"] = "ESP32-3DHT11";
    doc["timestamp"] = millis();
    doc["rssi"] = WiFi.RSSI();
    doc["lectura_num"] = lecturas_exitosas;

    // --- NUEVO CAMPO PARA EL CONSUMO DE CORRIENTE ---
    doc["consumo_corriente_A"] = round(currentConsumption * 100.0) /
    100.0; // Redondeamos a 2 decimales

    // Crear arrays para cada tipo de dato usando la nueva sintaxis
    recomendada
    JsonArray temps = doc["temperaturas"].to<JsonArray>();
    JsonArray hums = doc["humedades"].to<JsonArray>();
    JsonArray vents = doc["ventiladores"].to<JsonArray>();
    JsonArray umbs = doc["umbrales"].to<JsonArray>();
    JsonArray pines_sensores = doc["pines_sensores"].to<JsonArray>();
    JsonArray pines_reles = doc["pines_reles"].to<JsonArray>();

    // Llenar arrays con datos de las 3 zonas
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        temps.add(temperaturas[i]);
        hums.add(humedades[i]);
    }
}
```

```
vents.add(ventiladores_activos[i]);
umbs.add(umbrales[i]);
pines_reles.add(relay_pins[i]);
}

// Agregar pines de sensores
pines_sensores.add(DHT1_PIN);
pines_sensores.add(DHT2_PIN);
pines_sensores.add(DHT3_PIN);

JsonObject zona1 = doc["zona1"].to<JsonObject>();
zona1["temperatura"] = temperaturas[0];
zona1["humedad"] = humedades[0];
zona1["ventilador"] = ventiladores_activos[0];
zona1["umbral"] = umbrales[0];

JsonObject zona2 = doc["zona2"].to<JsonObject>();
zona2["temperatura"] = temperaturas[1];
zona2["humedad"] = humedades[1];
zona2["ventilador"] = ventiladores_activos[1];
zona2["umbral"] = umbrales[1];

JsonObject zona3 = doc["zona3"].to<JsonObject>();
zona3["temperatura"] = temperaturas[2];
zona3["humedad"] = humedades[2];
zona3["ventilador"] = ventiladores_activos[2];
zona3["umbral"] = umbrales[2];

// Convertir a string
char jsonString[1200]; // Aumentamos el tamaño del buffer para el
string JSON
size_t len = serializeJson(doc, jsonString);

if (len == 0) {
  Serial.println("X Error al crear JSON");
  return;
}

// Publicar en MQTT
if (client.publish(mqtt_topic, jsonString, true)) {
  Serial.println("✓ Datos de las 3 zonas y corriente enviados a
Node-RED:");
  Serial.println(jsonString);
}
```

```
    lecturas_exitosas++;
} else {
    Serial.println("X Error al enviar datos MQTT");
    return;
}

ix. // Mostrar resumen en monitor serie
Serial.println("\n=== RESUMEN DE ZONAS Y CONSUMO ===");
for (int i = 0; i < 3; i++) {
    Serial.printf("ZONA %d: %.2f°C | %.2f%% | Ventilador: %s\n",
        i + 1, temperaturas[i], humedades[i],
        ventiladores_activos[i] ? "ON" : "OFF");
}
Serial.printf("CONSUMO TOTAL: %.2f A\n", currentConsumption); //
Mostrar la lectura de corriente
Serial.printf("WiFi RSSI: %d dBm\n", WiFi.RSSI());
Serial.println("=====\n");
}

void loop() {
    // Verificar conexión WiFi
    if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        Serial.println("WiFi desconectado. Reintentando...");
        setup_wifi();
    }

    // Verificar conexión MQTT
    if (!client.connected()) {
        reconnect();
    }

    // Mantener la conexión MQTT activa
    client.loop();

    // Procesar datos cada 5 segundos
    unsigned long currentMillis = millis();
    if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
        previousMillis = currentMillis;

        // Leer todos los sensores (incluyendo el SCT013)
        leerSensores();

        // Controlar todos los ventiladores
        controlVentiladores();

        // Enviar todos los datos
        sendAllSensorData();
    }
}
```

```
}  
  
x. // Mostrar estadísticas cada minuto  
static unsigned long lastStats = 0;  
if (currentMillis - lastStats >= 60000) {  
    lastStats = currentMillis;  
    Serial.printf("\n📊 ESTADÍSTICAS: %d lecturas exitosas, %d fallos  
de conexión\n",  
        lecturas_exitosas, conexiones_fallidas);  
  
    Serial.println("Estado actual de ventiladores:");  
    for (int i = 0; i < 3; i++) {  
        Serial.printf("  Zona %d: %s (Umbral: %.1f°C)\n",  
            i + 1,  
            ventiladores_activos[i] ? "ACTIVADO" :  
"DESACTIVADO",  
            umbrales[i]);  
    }  
    Serial.printf("Consumo de Corriente Actual: %.2f A\n",  
currentConsumption);  
    Serial.println();  
}  
}
```

Anexo 2

En el anexo 2 se muestra la Figura 35 que es del datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos, cuenta con 7 racks, las dimensiones de cada una son de 1.85 cm de alto, 60-80 cm de ancho y 100-120 cm de profundidad, en donde se realizaron las pruebas de humedad, temperatura y consumo de corriente. Este escenario permitió emular todas las condiciones en el prototipo del proyecto.



Figura 35 – Datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos Fuente: Autor.

Anexo 3

En el anexo 3 se muestra las alertas de la aplicación de Telegram donde indica que componente esta fuera de rango, como por ejemplo en la Figura 36 se muestra que la temperatura esta alta y está dividido por zonas 1,2 y 3, que hace referencia a los niveles de la maqueta del prototipo. Así mismo se menciona que sensor esta fuera de rango y que nivel tiene como se presenta aquí con un nivel de 30.8°C, y además muestra todos las zonas y sus niveles actuales.

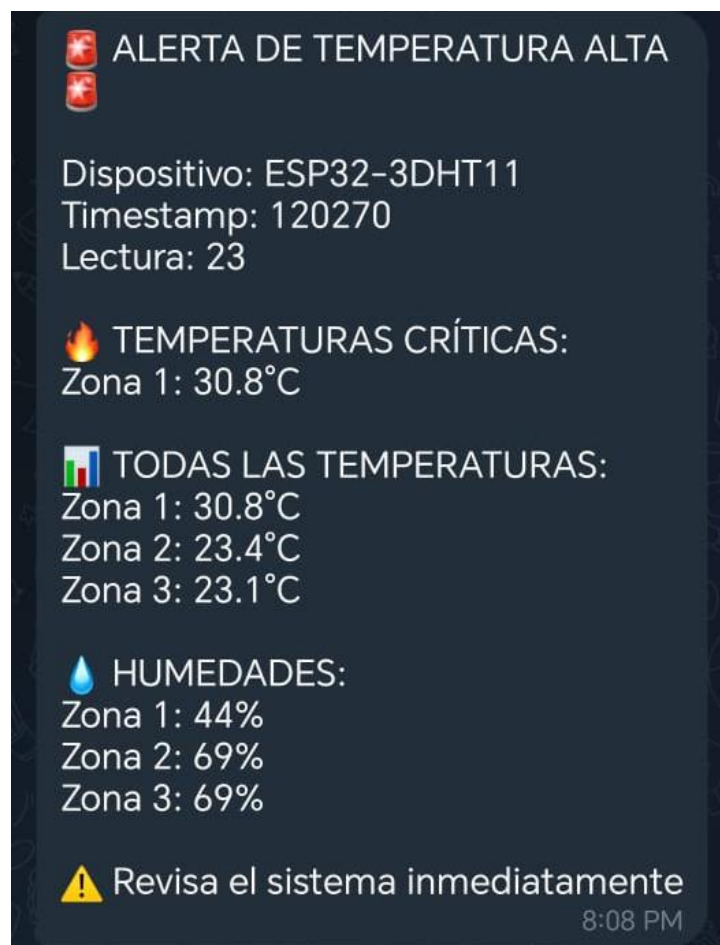


Figura 36-Alerta de Telegram Fuente: Autor.

En la Figura 37 es el mensaje que el Rack ya salió de peligro y así mismo todas las zonas con niveles óptimos.



Figura 37-Alerta fuera de peligro de Telegram Fuente: Autor.

Anexo 4

Aquí se adjunta las tablas completas con los 100 datos obtenidos de las pruebas realizadas en el curso de comunicaciones inalámbricas.

i. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.

Temperatura Nivel 1-Prototipo/Higrometro														
E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro
1	23.8	23.7	21	23.8	23.9	41	23.8	23.8	61	23.4	23.3	81	23.4	23.5
2	23.8	23.8	22	23.8	23.8	42	23.8	23.9	62	23.4	23.4	82	23.4	23.4
3	23.8	23.9	23	23.8	23.8	43	23.8	23.8	63	23.4	23.3	83	23.4	23.3
4	23.8	23.8	24	23.8	23.7	44	23.8	23.9	64	23.4	23.4	84	23.4	23.4
5	23.8	23.7	25	23.8	23.9	45	23.8	23.8	65	23.4	23.3	85	23.4	23.4
6	23.8	23.9	26	23.8	23.8	46	23.8	23.7	66	23.4	23.4	86	23.4	23.4
7	23.8	23.8	27	23.8	23.8	47	23.5	23.6	67	23.4	23.3	87	23.4	23.4
8	23.8	23.7	28	23.8	23.9	48	23.4	23.5	68	23.4	23.4	88	23.4	23.3
9	23.8	23.9	29	23.8	23.8	49	23.4	23.4	69	23.4	23.4	89	23.4	23.4
10	23.8	23.8	30	23.8	23.7	50	23.4	23.3	70	23.4	23.4	90	23.15	23.2
11	23.8	23.7	31	23.8	23.9	51	23.4	23.4	71	23.4	23.5	91	23	23.1
12	23.8	23.9	32	23.8	23.8	52	23.4	23.4	72	23.4	23.3	92	23	23.1
13	23.8	23.8	33	23.8	23.8	53	23.4	23.5	73	23.4	23.4	93	23	23.2
14	23.8	23.9	34	23.8	23.7	54	23.4	23.3	74	23.4	23.4	94	23	23.1
15	23.8	23.8	35	23.8	23.8	55	23.4	23.4	75	23.4	23.3	95	23	23.1
16	23.8	23.9	36	23.8	23.7	56	23.4	23.4	76	23.4	23.4	96	23	23.2
17	23.8	23.8	37	23.8	23.8	57	23.4	23.4	77	23.4	23.4	97	23	23.3
18	23.8	23.7	38	23.8	23.8	58	23.4	23.3	78	23.4	23.3	98	23	23.3
19	23.8	23.8	39	23.8	23.8	59	23.4	23.4	79	23.4	23.4	99	23	23.2
20	23.8	23.9	40	23.8	23.9	60	23.4	23.3	80	23.4	23.4	100	23	23.1

Tabla 23-Tabla de datos de Temperatura del nivel 1. Fuente: Autor.

ii. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.

Temperatura Nivel 2-Prototipo/Higrometro														
E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro
1	23.4	23.3	21	23.5	23.4	41	23.35	23.3	61	23	23.05	81	23.4	23.4
2	23.4	23.3	22	23.4	23.3	42	23.3	23.2	62	23	23.05	82	23.4	23.35
3	23.4	23.35	23	23.4	23.3	43	23.35	23.25	63	23	23.1	83	23.4	23.35
4	23.4	23.4	24	23.4	23.3	44	23.3	23.2	64	23	23.1	84	23.4	23.4
5	23.4	23.4	25	23.4	23.3	45	23.29	23.18	65	23	23.15	85	23.4	23.4
6	23.45	23.45	26	23.4	23.3	46	23.1	23.1	66	23	23.2	86	23.4	23.4
7	23.75	23.6	27	23.4	23.3	47	23.1	23.1	67	23	23.25	87	23.4	23.4
8	23.8	23.7	28	23.4	23.3	48	23	23.05	68	23	23.3	88	23.4	23.4
9	23.8	23.65	29	23.4	23.35	49	23	23.05	69	23	23.3	89	23.4	23.4
10	23.8	23.7	30	23.4	23.35	50	23	23.05	70	23	23.3	90	23.4	23.35
11	23.75	23.75	31	23.4	23.35	51	23	23.05	71	23	23.3	91	23.4	23.35
12	23.8	23.8	32	23.4	23.35	52	23	23.05	72	23.05	23.3	92	23.4	23.35
13	23.8	23.8	33	23.4	23.4	53	23	23.05	73	23.35	23.3	93	23.4	23.35
14	23.8	23.8	34	23.4	23.4	54	23	23.05	74	23.4	23.3	94	23.4	23.35
15	23.8	23.8	35	23.4	23.4	55	23	23.05	75	23.4	23.3	95	23.4	23.35
16	23.8	23.8	36	23.4	23.4	56	23	23.05	76	23.4	23.3	96	23.4	23.35
17	23.6	23.65	37	23.4	23.4	57	23	23.05	77	23.4	23.3	97	23.4	23.35
18	23.5	23.55	38	23.4	23.4	58	23	23.05	78	23.4	23.3	98	23.4	23.35
19	23.6	23.55	39	23.4	23.4	59	23	23.05	79	23.4	23.3	99	23.4	23.35
20	23.75	23.6	40	23.4	23.4	60	23	23.05	80	23.4	23.3	100	23.4	23.35

Tabla 24-Tabla de datos de Temperatura del nivel 2. Fuente: Autor.

iii. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.

Temperatura Nivel 3-Prototipo/Higrometro														
E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro
1	23	23.05	21	22.6	22.7	41	23	23.05	61	23.4	23.3	81	23	23.05
2	23	23.05	22	22.6	22.7	42	23	23.05	62	23.4	23.3	82	23	23.05
3	23	23.05	23	22.6	22.7	43	23	23.05	63	23.4	23.3	83	23	23.05
4	23	23.05	24	22.6	22.7	44	23	23.05	64	23.4	23.3	84	23	23.05
5	23	23.05	25	22.6	22.7	45	23	23.05	65	23.25	23.2	85	23	23.05
6	23	23.05	26	22.6	22.7	46	23	23.05	66	23	23.05	86	23	23.05
7	23	23	27	22.6	22.7	47	23	23.05	67	23	23.05	87	23	23.05
8	23	23	28	22.6	22.7	48	23	23.05	68	23	23.05	88	23	23.05
9	22.95	22.95	29	22.6	22.7	49	23	23.05	69	23	23.05	89	23	23.05
10	22.7	22.8	30	22.6	22.7	50	23	23.05	70	23	23.05	90	23	23.05
11	22.6	22.7	31	22.6	22.7	51	23	23.05	71	23	23.05	91	23	23.05
12	22.6	22.7	32	22.6	22.7	52	23.05	23.1	72	23	23.05	92	23	23.05
13	22.6	22.7	33	22.6	22.7	53	23.4	23.35	73	23	23.05	93	22.75	22.9
14	22.6	22.7	34	22.65	22.75	54	23.4	23.35	74	23	23.05	94	22.7	22.85
15	22.6	22.7	35	22.65	22.75	55	23.4	23.35	75	23	23.05	95	22.65	22.8
16	22.6	22.7	36	23	23.05	56	23.4	23.35	76	23	23.05	96	22.7	22.85
17	22.6	22.7	37	23	23.05	57	23.4	23.35	77	23	23.05	97	22.7	22.85
18	22.6	22.7	38	23	23.05	58	23.4	23.35	78	23	23.05	98	22.7	22.85
19	22.6	22.7	39	23	23.05	59	23.4	23.35	79	23	23.05	99	22.65	22.8
20	22.6	22.7	40	23	23.05	60	23.4	23.35	80	23	23.05	100	22.65	22.8

Tabla 25-Tabla de datos de Temperatura del nivel 3. Fuente: Autor.

iv. Toma de pruebas de la humedad del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.

Humedad Nivel 1-Prototipo/Higrometro														
E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro
1	71	71	21	74	69.2	41	80	66.1	61	75	70.2	81	70	70
2	71	71	22	74.9	69.1	42	79	66.1	62	74.5	70.1	82	69	69
3	71	71	23	75	69	43	79	66.1	63	74	70.4	83	69	69
4	71	71	24	75	69	44	79	66.6	64	74	71	84	69	69
5	71	71	25	75	69	45	79	66.9	65	74	70.9	85	69	69
6	71	71	26	75.5	69	46	78.5	67.2	66	74	70.8	86	69	69
7	71	70.9	27	76	68.8	47	78	67.5	67	74	70.8	87	69	69
8	70.5	70.4	28	76	68.6	48	78	67.9	68	73.5	70.8	88	69	69
9	70	70.1	29	76.7	68.5	49	77.5	68.4	69	73.7	70.8	89	69	69
10	70	70	30	77	68.4	50	77.3	68.6	70	73.3	70.7	90	69	69
11	70	70	31	77.3	68.3	51	77	68.7	71	73	70.7	91	69	69
12	70	70	32	77.8	68.2	52	77.7	68.7	72	73	70.7	92	69	69
13	72	69.4	33	77.9	68.1	53	76.5	68.8	73	73	70.6	93	69	69
14	72.4	69	34	78	67.5	54	76	68.9	74	73	70.5	94	69	69
15	72.9	69	35	78.5	67.3	55	76	69	75	72.5	70.5	95	69	69
16	73	69	36	78.8	67.1	56	76	69	76	72	70.4	96	68	68
17	73.2	69	37	79	67	57	76	69.5	77	71	70.1	97	68	68
18	73.8	69	38	79.5	66.5	58	76	69.4	78	71	70.1	98	68	68
19	73.7	69	39	80	66.1	59	75.5	69.3	79	70	70	99	68	68
20	73.9	69	40	80.5	66	60	75	69.2	80	70	70	100	67	67

Tabla 26- Tabla de datos de Humedad del Nivel 1. Fuente: Autor.

v. Toma de pruebas de la humedad del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.

Humedad Nivel 2-Prototipo/Higrometro														
E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro
1	71	71.2	21	69	68.8	41	66	66.2	61	70	70.3	81	70	69.7
2	71	71	22	69	68.9	42	66	66.2	62	70	70.2	82	69	69.3
3	71	70.8	23	69	68.7	43	66	66.3	63	70.5	70.6	83	69	69.1
4	71	70.7	24	69	68.6	44	67	66.5	64	71	70.8	84	69	69.2
5	71	70.7	25	69	68.5	45	67	66.6	65	71	71	85	69	69.2
6	71	70.6	26	69	68.5	46	67.5	66.8	66	71	71	86	69	69.1
7	71	70.5	27	69	68.4	47	68	67.2	67	71	71	87	69	69.1
8	70.5	70.2	28	68	68.3	48	68	67.3	68	71	71	88	69	69.1
9	70	70.1	29	68	68.1	49	69	67.5	69	71	70.9	89	69	69.1
10	70	70	30	68	68	50	69	67.6	70	71	70.8	90	69	69.1
11	70	70	31	68	68	51	69	67.6	71	71	70.8	91	69	69.1
12	70	69.9	32	68	67.9	52	69	67.7	72	71	70.7	92	69	69
13	69.5	69.7	33	68	67.7	53	69	67.8	73	71	70.7	93	69	69
14	69	69.5	34	67.5	67.6	54	69	67.9	74	71	70.6	94	69	69
15	69	69.3	35	67	67.3	55	69	68	75	71	70.6	95	69	68.9
16	69	69.1	36	67	67.3	56	69	68.2	76	71	70.5	96	68	68.7
17	69	69.1	37	67	67.1	57	70	68.5	77	70	70.3	97	68	68.5
18	69	69	38	66.5	66.9	58	70	68.5	78	70	70.2	98	68	68.3
19	69	69	39	66	66.7	59	70	68.4	79	70	70.1	99	68	68.2
20	69	69	40	66	66.5	60	70	68.4	80	70	70.1	100	67	67.5

Tabla 27- Tabla de datos de Humedad del Nivel 2. Fuente: Autor.

vi. Toma de pruebas de la humedad del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el curso de comunicaciones inalámbricas.

Humedad Nivel 3-Prototipo/Higrometro														
E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro
1	70	70.5	21	69	68.5	41	66	66.5	61	67	67.2	81	70.5	70.1
2	71	70.8	22	69	69.5	42	66	66.1	62	67.5	67.9	82	71	70.7
3	71	70.6	23	69	69.2	43	66	65.9	63	68	68.4	83	71	70.5
4	71	70.9	24	69	69	44	65.5	66	64	68	68.2	84	71	70.9
5	71	70.7	25	69	68.7	45	65	65.2	65	68.5	68.3	85	71	70.8
6	71	70.5	26	69	68.9	46	65	65.3	66	69	68.7	86	71	70.5
7	71	70.6	27	69	68.6	47	65	65.5	67	69	68.8	87	70	70.3
8	71	70.4	28	69	68.9	48	65	65.4	68	69	68.9	88	70	70.1
9	71	70.3	29	68	68.2	49	65	65.6	69	69	69.1	89	70	70.2
10	71	70.2	30	68	68.4	50	64	64.7	70	69	69.3	90	70	70.1
11	71	70.2	31	68	68.1	51	64	64.9	71	69	69.2	91	69	69.4
12	71	70.4	32	68	68.3	52	64	64.5	72	69	69.3	92	69	69.3
13	71	70.6	33	68	67.8	53	64	64.8	73	69	69.2	93	69	69.2
14	71	70.3	34	68	67.9	54	64	64.6	74	69	69.1	94	69	69.2
15	71	70.1	35	67	67.5	55	64	64.2	75	69	69.1	95	69	69.2
16	70	70.1	36	67	67.4	56	64	64.4	76	69.5	69.2	96	69	69.1
17	70	70	37	67	67.1	57	65	64.8	77	70	69.6	97	69	69.1
18	70	69.8	38	66.5	66.3	58	66	65.2	78	70	69.8	98	69	69.2
19	70	69.9	39	66	66.2	59	66	65.4	79	70	70	99	69	69.1
20	69	69.7	40	66	66.1	60	67	66.5	80	70	70.2	100	69	69.2

Tabla 28- Tabla de datos de Humedad del Nivel 3. Fuente: Autor.

- vii. Toma de pruebas del consumo de corriente del prototipo, utilizando el sensor SCT-013-030 del prototipo y también el multímetro, realizada en el aula de Comunicaciones Inalámbricas.

Consumo de corriente -Prototipo/Multímetro														
E	Corr(A)-Prot	Corr(A)-Mult	E	Corr(A)-Prot	Corr(A)-Mult	E	Corr(A)-Prot	Corr(A)-Mult	E	Corr(A)-Prot	Corr(A)-Mult	E	Corr(A)-Prot	Corr(A)-Mult
1	0	0	21	2	2.1	41	3	2.9	61	1,5	1.6	81	2	2.1
2	0	0	22	2	2	42	3	3	62	1,5	1.5	82	2	2
3	0	0	23	2	2.1	43	3	3.1	63	1,5	1.4	83	2	2.1
4	0	0	24	2	2	44	3	3	64	1,5	1.6	84	2	2
5	0	0	25	2	2.1	45	3	3.1	65	1,5	1.5	85	2	2
6	0	0	26	2	2	46	3	3	66	1,5	1.5	86	2	2.1
7	0	0	27	2,5	2.6	47	3	3	67	1,5	1.4	87	2	2
8	0	0	28	2,5	2.4	48	3	3.1	68	1,5	1.5	88	2	2
9	0	0	29	2,5	2.5	49	3	2.9	69	1,5	1.6	89	2	2
10	0	0	30	2,5	2.6	50	3	3	70	1,5	1.4	90	2	2
11	0	0	31	2,5	2.4	51	3	3	71	2	2.1	91	0,5	0.6
12	0	0	32	2,5	2.5	52	3	3	72	2	2	92	0,5	0.5
13	0	0	33	2,5	2.5	53	3	3.1	73	2	2	93	0,5	0.6
14	0	0	34	2,5	2.6	54	3	3	74	2	2.1	94	0,5	0.5
15	0	0	35	2,5	2.5	55	3	2.9	75	2	2	95	0,5	0.6
16	0	0	36	2,5	2.4	56	3	3	76	2	2.1	96	0,5	0.5
17	0	0	37	3	3	57	3	3	77	2	2.1	97	0,5	0.5
18	0	0	38	3	3.1	58	3	3	78	2	2	98	0,5	0.6
19	0	0	39	3	3	59	1,5	1.6	79	2	2	99	0,5	0.5
20	2	2.1	40	3	2.9	60	1,5	1.4	80	2	2.1	100	0,5	0.6

Tabla 29- Tabla de datos de Consumo de corriente del Prototipo, utilizando también el multímetro.

Fuente: Autor.

Anexo 5

Aquí se adjunta las tablas completas con los 100 datos obtenidos de las pruebas realizadas en el datacenter de Megamaxi Ceibos.

i. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.

Temperatura Nivel 1-Prototipo/Higrometro														
E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro
1	22	22	21	27	27	41	33	33	61	42	42	81	35	35
2	22	22	22	27	27	42	35	35	62	42	42	82	35	34
3	22	22	23	29	29	43	35	35	63	42	42	83	35	34
4	22	22	24	29	29	44	35	35	64	42	42	84	35	34
5	22	22	25	29	29	45	38	38	65	42	42	85	33	33
6	22	22	26	29	29	46	38	38	66	42	42	86	33	33
7	23	23	27	30	30	47	38	38	67	42	42	87	33	33
8	23	23	28	32	32	48	38	38	68	38	38	88	33	33
9	23	23	29	32	32	49	38	38	69	38	38	89	33	33
10	23	23	30	32	32	50	40.3	40.3	70	38	38	90	33	32
11	23	23	31	32	32	51	40.3	40.3	71	38	38	91	27	27
12	23	23	32	33	33	52	40.3	40.3	72	38	38	92	27	27
13	25	25	33	33	33	53	40.3	40.3	73	38	38	93	25	25
14	26	26	34	33.5	33.5	54	40.3	40.3	74	38	38	94	25	25
15	26	26	35	34	34	55	40.3	40.3	75	38	38	95	25.5	25.5
16	27	27	36	33	33	56	40.3	40.3	76	38	38	96	25.5	25.5
17	27	27	37	33	33	57	38	38	77	35	35	97	25.5	25.5
18	27	27	38	33	33	58	42	42	78	35	35	98	25.5	25.5
19	27	27	39	33	33	59	42	42	79	35	35	99	25.5	25.5
20	27	27	40	33	33	60	42	42	80	35	35	100	25.5	25.5

Tabla 30-Tabla de datos de Temperatura del nivel 1. Fuente: Autor.

ii. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.

Temperatura Nivel 2-Prototipo/Higrometro														
E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro
1	23	23	21	29	30	41	35	35.5	61	38	38.2	81	30	30.3
2	23	23	22	29	30	42	35	35.5	62	38	38.2	82	30	30.2
3	23	23	23	29	30	43	35	35.5	63	38	38.2	83	30	30.2
4	23	23	24	29	30	44	35	35.5	64	38	38.2	84	29	29.2
5	23	23	25	29	30	45	35	35.5	65	38	38.2	85	28	28.3
6	23	23	26	29	30	46	35	35.5	66	38	38.2	86	28	28.2
7	23	23	27	29	30	47	35	35.5	67	38	38.2	87	28	28.2
8	23	23	28	29	30	48	35	35.5	68	38	38.2	88	27	27.4
9	23	23	29	30	30.1	49	38	38	69	38	38.2	89	27	27.3
10	23	23	30	30	30.2	50	38	38	70	38	38.2	90	27	27.2
11	23	23	31	30	30.3	51	38	38	71	38	38.2	91	27	27.2
12	23	23	32	33	33.2	52	38	38	72	38	38.2	92	27	27.2
13	24	24	33	33	33.3	53	38	38	73	38	38.2	93	25	25.3
14	24	24	34	33	33.4	54	38	38	74	38	38.2	94	25	25.2
15	24	24	35	33	33.4	55	38	38	75	38	38.2	95	25	25.2
16	24	24	36	33	33.4	56	38	38	76	38	38.2	96	25	25.2
17	24	24	37	35	35.2	57	38	38	77	35	35.1	97	25	25.1
18	27	27	38	35	35.2	58	38	38	78	35	35.1	98	23	23.1
19	25	25	39	35	35.2	59	38	38	79	35	35.1	99	22,5	22.8
20	28	28	40	35	35.2	60	38	38	80	35	35.1	100	22,7	22.9

Tabla 31-Tabla de datos de Temperatura del nivel 2. Fuente: Autor.

iii. Toma de pruebas de la temperatura del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.

Temperatura Nivel 3 -Prototipo/Higrometro														
E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro	E	Temp(°C)-Prot	Temp(°C)-Higro
1	23	23	21	29	29.2	41	38	38.4	61	40	39.9	81	30	30.3
2	23	23	22	29	29.2	42	38	38.4	62	40	39.9	82	30	30.2
3	23	23	23	29	29.2	43	38	38.4	63	36	36.2	83	30	30.2
4	23	23	24	29	29.2	44	38	38.4	64	36	36.2	84	30	30.2
5	23	23	25	29	29.2	45	42	42.2	65	36	36.2	85	28	28.3
6	23	23	26	29	29.2	46	42	42.2	66	36	36.2	86	28	28.2
7	23	23	27	29	29.2	47	42	42.2	67	36	36.2	87	28	28.2
8	23	23	28	29	29.2	48	42	42.2	68	36	36.2	88	27	27.5
9	23	23	29	30	30.2	49	42	42.2	69	32	32.2	89	27	27.3
10	23	23	30	30	30.2	50	42	42.2	70	32	32.2	90	27	27.3
11	23	23	31	30	30.3	51	42	42.2	71	32	32.2	91	27	27.2
12	23	23	32	33	33.3	52	42	42.2	72	32	32.2	92	27	27.2
13	24	24	33	33	33.4	53	42	42.2	73	32	32.2	93	25	25.3
14	24	24	34	33	33.4	54	42	42.2	74	32	32.2	94	25	25.2
15	24	24	35	33	33.4	55	42	42.2	75	32	32.2	95	25	25.2
16	25	25	36	33	33.4	56	42	42.2	76	32	32.2	96	25	25.2
17	26	26	37	35	35.1	57	42	42.2	77	30	30.2	97	25	25.1
18	27	27	38	35	35.1	58	40	40.1	78	30	30.2	98	23,4	23.6
19	25	25	39	35	35.1	59	40	40.1	79	30	30.2	99	22,65	22.8
20	28	28	40	38	38.1	60	40	40.1	80	30	30.2	100	22,65	22.8

Tabla 32-Tabla de datos de Temperatura del nivel 3. Fuente: Autor.

iv. Toma de pruebas de la humedad del nivel 1 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.

Humedad Nivel 1-Prototipo/Higrometro														
E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro
1	71	70.9	21	69	69.1	41	66	66.1	61	65	65.1	81	55	55.1
2	71	71.1	22	69	69.1	42	66	66.1	62	65	64.9	82	55	55
3	71	71.2	23	69	69.2	43	66	65.9	63	65	65	83	55	54.8
4	71	71	24	69	68.9	44	67	66.8	64	63	63.2	84	55	55.2
5	71	70.9	25	69	69	45	67	67.1	65	63	62.8	85	55	54.9
6	71	71	26	68	68.2	46	67,5	67.6	66	63	63	86	55	55
7	71	71.1	27	69	68.9	47	68	68	67	63	63	87	53	53.1
8	70,5	70.6	28	69	69	48	68	68.1	68	63	63.1	88	53	53.1
9	70	70.1	29	69	68.9	49	68	67.9	69	63	63.1	89	53	52.9
10	70	70.2	30	69	68.8	50	69	69.1	70	63	62.9	90	53	53.1
11	70	70	31	69	69	51	69	68.9	71	63	62.8	91	53	53
12	70	69.9	32	69	68.8	52	69	69.2	72	60	60.1	92	53	52.9
13	69,5	69.6	33	69	68.9	53	69	69	73	60	60.2	93	50	50.1
14	69	69.1	34	67,5	67.4	54	69	68.9	74	57	57.2	94	50	50
15	69	68.9	35	67	67.1	55	69	69.1	75	57	56.8	95	50	50
16	69	69	36	67	66.9	56	69	69.2	76	57	57.1	96	50	50
17	69	68.9	37	67	67	57	65	65.1	77	57	56.9	97	50	50
18	69	69	38	66,5	66.6	58	65	65.2	78	57	56.8	98	50	49.9
19	69	68.8	39	66	66.1	59	65	64.9	79	57	57.1	99	50	50
20	69	69	40	66	66	60	65	65.1	80	55	55.2	100	50	50.2

Tabla 33- Tabla de datos de Humedad del Nivel 1. Fuente: Autor.

v. Toma de pruebas de la humedad del nivel 2 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.

Humedad Nivel 2-Prototipo/Higrometro														
E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Pro	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro
1	80	80.1	21	74	74.2	41	73	73.1	61	65	65.1	81	55	55.2
2	80	79.9	22	74	74.1	42	73	73.2	62	65	65	82	55	54.9
3	77	77.2	23	74	73.8	43	73	73	63	65	65.1	83	55	55
4	77	76.9	24	74	74.1	44	68	68.2	64	59	59.1	84	55	55.1
5	77	76.8	25	74	73.9	45	68	67.9	65	59	59.2	85	55	55
6	77	77	26	74	73.7	46	68	68.1	66	59	59.2	86	55	55.1
7	77	77.1	27	74	74.2	47	68	68.3	67	59	59	87	55	54.9
8	77	77	28	74	74	48	68	67.9	68	59	58.9	88	55	54.8
9	75	75.2	29	74	74	49	65	64.9	69	59	59.1	89	55	55
10	75	74.9	30	74	74.1	50	65	64.8	70	59	59.1	90	55	54.8
11	75	75	31	75	75.1	51	65	65.2	71	59	59.2	91	53	53.1
12	75	75	32	75	75.2	52	65	65	72	59	59	92	53	53.2
13	75	74.9	33	75	75.1	53	65	64.8	73	59	59	93	53	53.1
14	75	74.8	34	75	75.1	54	65	65.1	74	59	59	94	53	53.1
15	74	74.1	35	73	73.2	55	65	65.2	75	59	59.1	95	53	53
16	74	74.2	36	73	73.1	56	65	65.1	76	59,5	59.4	96	53	53.1
17	74	74.2	37	73	73.2	57	65	65.1	77	59,5	59.6	97	53	53
18	74	73.9	38	73	73.1	58	65	64.9	78	59,5	59.4	98	53	52.9
19	74	74.1	39	73	73	59	65	65.1	79	59,5	59.4	99	52	52.9
20	74	74.2	40	73	72.9	60	65	65	80	59,5	59.6	100	52	52.8

Tabla 34- Tabla de datos de Humedad del Nivel 2. Fuente: Autor.

vi. Toma de pruebas de la humedad del nivel 3 del prototipo y el higrómetro en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.

Humedad Nivel 3-Prototipo/Higrometro														
E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro	E	Hum (%) -Prot	Hum (%) -Higro
1	70	70.2	21	66	66.1	41	60	60.1	61	57	57.1	81	48	48.1
2	71	70.9	22	66	65.9	42	60	60.2	62	57	57	82	48	47.9
3	71	71	23	66	66.1	43	60	60.1	63	57	57.2	83	48	48
4	71	70.8	24	66	66.1	44	60	59.9	64	50	50.2	84	48	48.2
5	71	71.1	25	66	66.2	45	60	60	65	50	50.1	85	47	46.9
6	71	70.9	26	66	65.8	46	60	59.8	66	50	49.9	86	47	47.1
7	71	70.8	27	66	66.1	47	60	60	67	50	50.1	87	47	47.2
8	71	71	28	66	66.2	48	60	60.1	68	50	49.8	88	47	47.1
9	71	70.7	29	66	65.9	49	60	59.9	69	50	49.9	89	47	47
10	71	70.9	30	66	66	50	59	59.1	70	50	50	90	46,5	46.4
11	71	71.2	31	66	66.1	51	59	59.1	71	50	50.1	91	46,5	46.4
12	71	70.8	32	66	65.9	52	59	59	72	50	50.2	92	46,5	46.3
13	71	70.9	33	60	60.2	53	59	59.2	73	50	50.1	93	46,5	46.6
14	66	66.1	34	60	60.1	54	57	57.2	74	50	49.9	94	46,5	46.3
15	66	66.2	35	60	60	55	57	56.9	75	48	48.1	95	46,5	46.4
16	66	65.9	36	60	60.1	56	57	57.1	76	48	48.1	96	46,5	46.4
17	66	66.1	37	60	59.9	57	57	57	77	48	48.2	97	46,5	46.4
18	66	66.1	38	60	60.1	58	57	57	78	48	47.9	98	46,5	46.3
19	66	66	39	60	59.8	59	57	57.1	79	48	48.1	99	46,5	46.6
20	66	65.8	40	60	60.2	60	57	57	80	48	48	100	46,5	46.4

Tabla 35- Tabla de datos de Humedad del Nivel 3. Fuente: Autor.

- vii. Toma de pruebas del consumo de corriente del prototipo, utilizando el sensor SCT-013-030 del prototipo y también el multímetro, realizada en el datacenter ubicado en Megamaxi Ceibos.

Consumo de corriente -Prototipo/Multímetro														
E	Corr(A)-Prot	Corr(A)-Mult	E	Corr(A)-Prot	Corr(A)-Mult	E	Corr(A)-Prot	Corr(A)-Mult	E	Corr(A)-Prot	Corr(A)-Mult	E	Corr(A)-Prot	Corr(A)-Mult
1	0	0	21	2	2.1	41	3	3.1	61	1,5	1.6	81	1,5	1.4
2	0	0	22	2	2.1	42	3	2.9	62	1,5	1.5	82	1,5	1.6
3	0	0	23	2	2.1	43	3	3.1	63	1,5	1.6	83	1,5	1.5
4	0	0	24	2	2	44	3	3	64	1,5	1.4	84	1,5	1.6
5	0	0	25	2	2.1	45	3	3.1	65	1,5	1.5	85	2	2.1
6	0	0	26	2	1.9	46	3	3	66	1,5	1.6	86	2	2.1
7	0	0.1	27	2,5	2.4	47	3	2.9	67	1,5	1.6	87	2	1.9
8	0	0.1	28	2,5	2.6	48	3	3	68	1,5	1.4	88	2	2.1
9	0	0	29	2,5	2.6	49	3	3	69	1,5	1.6	89	2	2
10	0	0	30	2,5	2.4	50	3	3.1	70	1,5	1.4	90	2	2
11	0	0	31	2,5	2.6	51	3	3	71	2	2.1	91	0,5	0.4
12	0	0	32	2,5	2.6	52	3	2.9	72	2	2	92	0,5	0.6
13	0	0	33	2,5	2.5	53	3	3	73	2	2.1	93	0,5	0.4
14	0	0.1	34	2,5	2.4	54	3	3	74	2	2	94	0,5	0.6
15	2	1.9	35	2,5	2.5	55	3	3.1	75	2	2.1	95	0,5	0.4
16	2	2	36	2,5	2.4	56	3	3	76	2	2	96	0,5	0.6
17	2	1.9	37	3	3.1	57	3	2.9	77	2	1.9	97	0,5	0.6
18	2	2.1	38	3	3.1	58	3	3	78	1,5	1.6	98	0,5	0.5
19	2	2	39	3	3	59	1,5	1.4	79	1,5	1.6	99	0,5	0.6
20	2	1.9	40	3	3.1	60	1,5	1.6	80	1,5	1.4	100	0,5	0.6

Tabla 36-Tabla resumen de datos de Consumo de corriente del Prototipo, utilizando también el multímetro. Fuente: Autor.