



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INTERNET DE LAS COSAS

PROYECTO TERMINAL

**PLATAFORMA DE IOT PARA LA MEDICIÓN DE
LAS VARIABLES DE TEMPERATURA Y
HUMEDAD DE UN CENTRO DE DATOS.**

Para obtener el grado de

Maestro en Internet de las Cosas

PRESENTA

Juan Bertino Jiménez Morales

Directora

Mtra. Kristell Daniella Franco Sánchez

Comité tutorial

Mtra. Kristell Daniella Franco Sánchez

Mtro. Melecio Sánchez Ruiz

Mtro. Gonzalo Alberto Torres Samperio

Mineral de la Reforma, Hgo., a 20 de mayo de 2025



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INTERNET DE LAS COSAS

PROYECTO TERMINAL

**PLATAFORMA DE IOT PARA LA MEDICIÓN DE
LAS VARIABLES DE TEMPERATURA Y
HUMEDAD DE UN CENTRO DE DATOS.**

**Para obtener el grado de
Maestro en Internet de las Cosas**

PRESENTA

Juan Bertino Jiménez Morales

Directora

Mtra. Kristell Daniella Franco Sánchez

Comité tutorial

Mtra. Kristell Daniella Franco Sánchez
Mtro. Melecio Sánchez Ruiz
Mtro. Gonzalo Alberto Torres Samperio

Mineral de la Reforma, Hgo., a 20 de mayo de 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Área Académica de Computación y Electrónica

Department of Electronics and Computer Science

Mineral de la Reforma, Hgo., a 20 de mayo de 2025

No. De Control: ICBI-AACyE/636/2025

Asunto: Autorización de impresión

**MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH**

El Comité Tutorial del **PROYECTO TERMINAL** del programa educativo de posgrado titulado **“PLATAFORMA DE IOT PARA LA MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DE UN CENTRO DE DATOS.”**, realizado por el sustentante **JUAN BERTINO JIMÉNEZ MORALES** con número de cuenta **233161** perteneciente al programa de **MAESTRÍA EN INTERNET DE LAS COSAS**, una vez que se ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por lo que la sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

**Atentamente
“Amor, Orden y Progreso”**

El Comité Tutorial


Mtra. Kristell Daniella Franco Sánchez
Miembro del comité


Mtro. Gonzalo Alberto Torres Samperio
Miembro del comité


Mtro. Melecio Sánchez Ruiz
Miembro del comité

C.c.p. Archivo
MSR



ÁREA ACADÉMICA DE
COMPUTACIÓN Y ELECTRÓNICA

Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 40052, 40053
aacye_icbi@uaeh.edu.mx, jesus_ordaz@uaeh.edu.mx



Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a toda mi familia.

A mi esposa, que con todo el apoyo, comprensión, amor y compañía en todo momento formó parte importante durante el transitar de este proyecto de inicio a fin.

A mis padres quienes por ellos soy la persona que redacta este documento, resultado del gran esfuerzo realizado por ustedes que con valores, amor, apoyo y educación forjan mi camino.

A mi hermano, mi modelo a seguir y de quien agradezco su respaldo en todo momento.

Agradecimientos

Gracias a mi universidad, la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por forjar mi camino profesional desde mi camino como estudiante de preparatoria, universidad y actualmente posgrado.

Agradezco a los profesores y personal participe del programa de la Maestría en Internet de las Cosas por formar parte importante durante la consolidación de este proyecto y de quienes agradezco todo el conocimiento y experiencias compartidas.

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por otorgar el apoyo necesario para realizar la conclusión de este grado académico que será piedra angular durante mi desarrollo profesional.

Índice general.

Dedicatoria	I
Agradecimientos.....	II
Índice general.....	III
Índice de figuras.....	V
Índice de tablas.....	VIII
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Capítulo 1 Introducción	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.3 Propuesta de solución.....	6
1.4 Justificación.....	6
1.5 Objetivo general	7
1.6 Objetivos específicos	7
1.7 Alcance.....	8
Capítulo 2 Marco teórico.....	9
2.1 Introducción al Internet de las Cosas.....	9
2.2 Composición de una solución de IoT	10
2.3 Áreas de aplicación del IoT.....	14
2.4 Convergencia de la tecnología operacional (TO) y la tecnología de la información (TI) en la industria.....	14
2.5 Servicios en línea y su impacto en la sociedad.....	17
2.6 Alojamiento de servicios de Internet en Centros de Datos.....	18
2.7 Cuidados y riesgos de los Centros de Datos.....	18
2.8 Hardware y software seleccionado para su implementación en el proyecto.....	21
Capítulo 3 Estado del arte.....	28

Capítulo 4 Diseño y desarrollo del dispositivo sensor y estructura de la solución.....	34
4.1 Diseño y configuración del dispositivo sensor.....	34
4.2 Diseño de la carcasa en 3D.	35
4.3 Comunicación mediante protocolo MQTT.....	37
4.4 Configuración de la herramienta Node – Red y conexión al servidor de base de datos.	42
Capítulo 5 Desarrollo e implementación del dashboard.....	47
5.1 Diseño web y desarrollo de dashboard.	47
5.2 Desarrollo de herramientas de alerta.	59
Capítulo 6 Pruebas de rendimiento.....	64
6.1 Pruebas de rendimiento y detección de posibles errores.	64
6.2 Análisis de datos y dictamen general.....	67
Conclusiones.....	80
Bibliografía	84
Glosario de terminos.	87
Lista de abreviaturas y siglas.	88
Lista de ecuaciones.....	89
Anexos	90

Índice de figuras.

Figura 1. Componentes comúnmente encontrados en un dispositivo IoT (Mansaf Alam, 2020).	11
Figura 2. Modelo de referencia por el IoT World Forum (Farshad Firouzi, 2020).	12
Figura 3. Modelo de referencia IoT de cuatro capas (Mansaf Alam, 2020).	13
Figura 4. Convergencia entre TI y TO (Mansaf Alam, 2020).	16
Figura 5. Logotipo Tinkercad Autodesk.....	23
Figura 6. Logotipo Eclipse Mosquitto	24
Figura 7. Logotipo Node – Red	25
Figura 8. Logotipo Microsoft Azure.	25
Figura 9. Captura de pantalla Cpanel (panel administrativo suministrado por el servicio hospedando.mx).....	27
Figura 10. Esquema de diseño de conexión del dispositivo sensor realizado en el simulador de sistemas embebidos online Wokwi.	34
Figura 11. Arreglo físico inicial del sensor de temperatura DHT22 y el módulo de desarrollo ESP-32.	35
Figura 12. Modelo 3D de la carcasa del dispositivo sensor.....	36
Figura 13. Modelo impreso en 3D de la carcasa del dispositivo sensor	36
Figura 14. Modelo impreso en 3D de la carcasa del dispositivo sensor (Interior).	37
Figura 15. Propiedades de la máquina virtual implementada en la plataforma Microsoft Azure.	37
Figura 16. Comandos para la instalación de Eclipse Mosquitto (AISBL, 2025).	38
Figura 17. Estatus del servicio Mosquito MQTT en el servidor Linux.	38
Figura 18. Código implementado para la conexión MQTT.....	39
Figura 19. Código para la recolección envío de los datos de temperatura y humedad.	40
Figura 20. Ejemplo de la salida serial del dispositivo ESP-32.	41
Figura 21. Código para la evaluación de conexión a internet mediante un Ping a los servidores de Google y declaración del tiempo de reposo del sensor.	42
Figura 22. Comandos de instalación para Node - Red en una maquina virtual almacenada en servicios de Microsoft Azure.	43
Figura 23. Conexión de bloques para el almacenamiento en base de datos realizado en la plataforma Node - Red.	44
Figura 24. Código dentro del nodo de función para insertar los valores de temperatura y humedad en el servidor MySQL.....	44
Figura 25. Captura de pantalla de la base de datos MySQL implementada a través del servicio de Hospedando.mx	45

Figura 26. Estructura de la base de datos privacy_DHT.....	45
Figura 27. Estructura de las tablas asignadas para cada sensor.	46
Figura 28. Wireframe, esquema básico a mano alzada del proyecto.	48
Figura 29. Ventana de acceso de la plataforma web.....	51
Figura 30. Ventana de inicio de la plataforma web.	51
Figura 31. Ventana de dashboard.....	52
Figura 32. Ventana de dashboard - sensores internos.	52
Figura 33. Ventana de análisis.....	53
Figura 34. Ventana de análisis – Interpretación de correlación y resumen.	55
Figura 35. Ventana Histórico – desglose de datos por sensor.	56
Figura 36. Indicadores circulares seleccionados para la presentación de las variables de temperatura y humedad en tiempo real.	57
Figura 37. Gráfica lineal seleccionada para la presentación de las variables de temperatura y humedad en las últimas 24 horas.	57
Figura 38. Tabla seleccionada para la presentación de resultados estadísticos con indicadores (verde, amarillo o rojo) para la interpretación de resultados.	57
Figura 39. Configuración de Chatbot en Telegram.....	60
Figura 40. Cadena de nodos utilizados para las herramientas de alarma vía Telegram y correo electrónico.....	60
Figura 41. Código para la evaluación de los valores de temperatura y humedad para la gestión de las herramientas de alarma.	61
Figura 42. Mensaje de alerta a través de la aplicación Telegram.....	61
Figura 43. Respuesta del ChatBot a la opción “Hola”.....	61
Figura 44. Respuesta del ChatBot a la opción 1.....	62
Figura 45. Respuesta del ChatBot a la opción 2.....	62
Figura 46. Alerta enviada mediante correo electrónico.....	62
Figura 47. Identificación del boton para activar/desactivar las herramientas de alarma.	63
Figura 48. Dispositivo sensor durante las pruebas de rendimiento.	65
Figura 49. Gráficos de la ventana “Histórico” durante las pruebas de rendimiento.	65
Figura 50. Mensaje de alerta mediante la aplicación de mensajería Telegram (Temperatura)..	66
Figura 51. Mensaje de alerta mediante correo electrónico.	67
Figura 52. Mensaje de alerta mediante la aplicación de mensajería Telegram (Humedad)..	67
Figura 53. Tabla de estatus presentada en la ventana “Análisis”.....	67
Figura 54. Tabla de mínimos y máximos por cada uno de los sensores.	68
Figura 55. Cálculo del coeficiente de Pearson mediante bloques de Node - Red.....	70
Figura 56. Tablas de correlación e interpretación del coeficiente de Pearson.	71

Figura 57. Dictamen general del Centro de Datos, basado en los resultados de los coeficientes de correlación.....	72
Figura 58. Distribución utilizada dentro de la recolección de datos (J. B. Jiménez–Morales, 2022).	73
Figura 59. Tabla “data” con registros obtenidos de una muestra real.	74
Figura 60. Nodos utilizados para la comparación de resultados con los registros obtenidos anteriormente.	75
Figura 61. Coeficiente de correlación obtenido mediante la plataforma propuesta en conjunto con Node - Red.	76
Figura 62. Coeficiente de correlación obtenido de la plataforma IBM SPSS Statistics.	76
Figura 63. Coeficiente de correlación obtenido mediante la aplicación Octave.....	76
Figura 64. Batería de Li-ion que opera a 3.7V con una capacidad de 2,800mAh.....	76
Figura 65. Power bank (batería de respaldo externa) con una capacidad de 20,000mAh. ...	77
Figura 66. Modificación del diseño integrando batería de 3,7V.	78
Figura 67. Implementación de pruebas de rendimiento del modelo 3D del dispositivo sensor con espacio adicional para batería de 3,7V.	78
Figura 68. Implementación de pruebas de rendimiento del modelo 3D del dispositivo sensor con batería externa de 20,000mAh.	78

Índice de tablas.

Tabla 1. Especificaciones técnicas ESP32-WROOM-32 obtenidas de la hoja técnica oficial (Datasheet, 2022).....	22
Tabla 2. Tabla de especificaciones técnicas del sensor de temperatura y humedad DHT22 obtenida de la hoja técnica oficial (Digital, 2022).	23
Tabla 3. Tabla comparativa de las soluciones comerciales similares identificadas.....	32
Tabla 4. Tabla de indicadores de temperatura y humedad promedio.....	68
Tabla 5. Resultados de tiempo de funcionamiento con baterías.	77

Resumen

El conocimiento y control del comportamiento de las variables de temperatura y humedad es de vital importancia, particularmente dentro de espacios donde se alojan los equipos de cómputo. Este es un tema que preocupa a diversas organizaciones, las cuales pueden ser pertenecientes al sector público o privado, por lo tanto, se vuelve un tema relevante para la sociedad en general cuya información y servicios digitales se soportan por equipos informáticos localizados en habitaciones o espacios especiales y cerrados que son conocidos como SITE o Centros de Datos.

El objetivo de tener conocimiento en todo momento sobre estas variables ayuda a evitar situaciones de riesgo dentro del mismo, por ejemplo: oxidaciones, sobrecalentamiento de los dispositivos o equipos de cómputo, pérdida de la información digital almacenada, incendios dentro de la habitación, etc. En este trabajo se realiza un prototipo funcional basado en Internet de las Cosas, realizando mediciones experimentales de humedad y temperatura dentro y fuera de un Centro de Datos.

Se desarrollaron procedimientos experimentales que permitieron la adquisición de datos confiables obtenidos por medio de tecnología IoT, mediante ello, es posible validar los modelos estadísticos que describen el comportamiento de estas variables.

La metodología empleada es experimental con adquisición de datos y realizando el análisis de éstos, a través de técnicas estadísticas que determinan la confiabilidad de los mismos, para posteriormente estudiar la posibilidad predictiva y de control mediante el uso de modelos matemáticos.

La información resultante es presentada mediante una plataforma web que alberga un dashboard realizados mediante la metodología de diseño de dashboards VROps para la visualización de la información en tiempo real e histórica. Además, se implementa un sistema de alarma contenido en el Dashboard, el cual permite el envío de notificaciones al personal encargado del Centro de Datos.

Sin embargo, es necesario resaltar la variabilidad de la cantidad de sensores necesarios para la obtención adecuada de los índices de temperatura y humedad, lo cual depende directamente de las condiciones particulares de cada Centro de Datos, por lo que en este

trabajo se propone un arreglo experimental con la cantidad mínima necesaria para brindar un análisis de datos adecuado.

Los resultados obtenidos descubren, efectivamente, una fuerte correlación entre las temperaturas en puntos diferentes y ocurriendo algo similar con la humedad. Esto facilita la forma de homogeneizar las variables, aunque es necesario aclarar que para obtener un mejor desempeño de la plataforma se requiere de un mayor número de sensores distribuidos espacialmente dentro del SITE, para así lograr que los campos de temperatura y humedad sean estadísticamente más aceptables.

Palabras clave: Internet de las Cosas, Centro de Datos, MQTT, dashboard, correlación.

Abstract

Understanding and controlling the behavior of temperature and humidity variables is vitally important, particularly in spaces where computer equipment is stored. Constant awareness of these variables helps prevent risky situations within the facility, such as rust, overheating of devices or computer equipment, loss of stored digital information, fires within the facility, etc. This work creates a functional prototype based on the Internet of Things, performing experimental measurements of humidity and temperature inside and outside a data center. Experimental procedures were developed that allowed for the acquisition of reliable data using IoT technology. This allows for the validation of statistical models that describe the behavior of these variables.

The methodology used is experimental, with data acquisition and analysis using statistical techniques to determine data reliability. The methodology used subsequently studies predictive and control possibilities through the use of mathematical models.

The resulting information is presented through a web platform that hosts a dashboard designed using the VROps dashboard design methodology for visualizing real-time and historical information. An alarm system is added to the dashboard, allowing notifications to be sent to data center personnel.

Keywords: Internet of Things, Data Center, MQTT, dashboard, correlation.

Capítulo 1 Introducción

Mediante este capítulo se describirá el ambiente y entorno de estudio alrededor de este documento, identificando la problemática a resolver, la propuesta de solución, objetivos y alcances que se delimitaron para este proyecto terminal. Otorgando un primer contexto para un mejor entendimiento del documento.

1.1 Antecedentes

El Internet de las Cosas IoT por sus siglas en inglés (IoT, Internet of Things) entendiéndose como una red o arreglo de dispositivos y objetos de carácter físico que incorpora sensores, software y otras tecnologías con la finalidad de realizar el intercambio de datos mediante la red de Internet (Oracle, 2022). El IoT es presentado como una alternativa ante la demanda de la sociedad para contar con el intercambio de datos entre dispositivos de uso cotidiano mediante Internet y el análisis de ellos.

En la actualidad, es posible conectar electrodomésticos, autos, termostatos y monitores de bebés mediante dispositivos integrados, lo que permite una comunicación fluida entre personas, procesos y cosas (Oracle, 2022). El Internet de las Cosas provee a cada objeto o “cosa” conectividad a los servicios de Internet contemporáneos a través de actuadores, sensores, microcontroladores, etc. Gracias a los avances en la electrónica y computación el IoT se encuentra ahora visible en una gran cantidad de campos en torno a la población, la salud y la industria, por mencionar algunos (Mansaf Alam, 2020).

Por otro lado, los servicios WEB representan una herramienta de gran importancia para la sociedad, formando parte en aplicaciones médicas, financieras, de seguridad, vigilancia, educativas y sociales. Todos los servicios y aplicaciones web son alojadas en equipos de cómputo de alto rendimiento (servidores) trabajando en conjunto con routers, switches y dispositivos de almacenamiento de información de manera ininterrumpida siendo resguardados en habitaciones que comúnmente son conocidas como SITE o Centro de Datos.

Un Centro de Datos debe de contener toda la infraestructura necesaria para el almacenamiento, procesamiento y resguardo de la información digital, algunos ejemplos son la infraestructura de distribución de energía, sistemas de control ambiental, almacenamiento de datos, equipos de comunicación y red (Hallstrom, 2017).

Existen diferentes riesgos o problemas técnicos, incluyendo el factor humano, que pueden causar daño a la integridad de un Centro de Datos y por consiguiente a la información que es procesada y resguardada en los equipos de cómputo que son alojados en su interior. La temperatura y humedad relativa son factores relevantes a considerar para su conocimiento y control, son agentes causales para la presencia de averías y degradación de los dispositivos electrónicos, dado que parte de la energía que requieren para su funcionamiento se transforma en calor. Existen rangos de temperatura y humedad relativa considerados como óptimos para el funcionamiento correcto previniendo situaciones de riesgo para los equipos informáticos que en este documento se mencionan posteriormente.

Si no existe una manera apropiada para realizar la medición de las variables anteriormente mencionadas pueden ocurrir situaciones de riesgo para los equipos electrónicos como por ejemplo, la presencia de corrosión y de campos electrostáticos con la consecuente pérdida de información, entre otros posibles daños (Pérez, 2015).

Al otorgar un monitoreo constante de las variables de temperatura y humedad podrán mantenerse seguros los equipos de cómputo en los rangos de producción óptimos, lo que brindará una vida útil prolongada garantizando una mejor calidad en la seguridad de la información.

En este trabajo se propone una alternativa que permite realizar el monitoreo de las variables de temperatura y humedad relativa de los Centros de Datos basada en un dispositivo con tecnología IoT y una plataforma web que proporciona un dashboard (panel de control), al realizar la integración de un dispositivo sensor capaz de comunicarse con la plataforma de desarrollo Node - Red en conjunto del manejador de bases de datos MySQL y la plataforma de mensajería instantánea Telegram para la gestión de un sistema de alarmas.

1.2 Planteamiento del problema

Actualmente, los Centros de Datos tienen un papel fundamental en el día a día de la sociedad, desde los aspectos relacionados a la mensajería instantánea o compras en línea, el desarrollo de servicios y aplicaciones para plataformas como Google, Facebook o Amazon requiriendo de grandes Centros de Datos localizados en diferentes partes del mundo.

Según un estudio realizado por la International Data Corporation (IDC), se prevé que la demanda global de transferencia de datos y servicios digitales se duplique hasta alcanzar los 4,2 zettabytes anuales, equivalentes a 42 000 exabytes, para 2022. El

número de centros de datos está aumentando a nivel mundial para gestionar este tráfico de datos en rápido crecimiento, al tiempo que la demanda energética de los centros de datos también está en aumento. (K. M. U. Ahmed, 2021, pág. 152538).

Debido a la importancia que tienen los Centros de Datos, éstos deben contar con estrategias de mantenimiento preventivo, correctivo e implementación de sistemas de alerta. Uno de los factores más relevantes a considerar es el desgaste de los equipos de cómputo ocasionado por los índices de temperatura y humedad en rangos no adecuados, los cuales colocan en riesgo a todos los equipos de telecomunicaciones e informática; por ejemplo, el incremento en la velocidad de corrosión de los equipos y la presencia de campos electrostáticos con la consecuente pérdida de información, entre otros daños más (Pérez, 2015).

Existen casos identificados en empresas de talla internacional que se han visto involucradas en fallas y cortes a sus servicios a causa de un descontrol en la temperatura de sus Centros de Datos. Por ejemplo, el 19 de julio de 2022 en Londres, Google presentó fallas en los sistemas de refrigeración a cargo de sus Centros de Datos, alcanzando una temperatura mayor a los 40° Celsius, teniendo como consecuencia apagados de emergencia en sus servidores, lo que ocasionó la interrupción del servicio Google Cloud (Swinhoe, 2022).

Otro caso identificado presentando el 5 de septiembre del mismo año, Twitter se encontró con la imposibilidad de brindar servicio dentro de su aplicación móvil a varios usuarios durante semanas a causa de las altas temperaturas registradas en sus Centros de Datos (Donie O'Sullivan, 2022).

Basado en los ejemplos anteriores, es indispensable tener un amplio conocimiento de las variables de temperatura y humedad, que permita implementar las acciones necesarias que eviten daños y por consecuencia pérdida de información. Sin embargo, más allá del precio que implica la implantación de una estrategia indicada existe una problemática de conocer el número suficiente o adecuado de sensores requeridos para satisfacer las necesidades particulares de cada Centro de Datos, lo que conduce a la problemática de tomar decisiones acertadas con un número limitado de sensores, considerando que la cantidad disponible de información deberá de ser suficiente para poder brindar un análisis confiable.

Al obtener la información sobre la situación actual en relación a la temperatura y humedad del CD en un tiempo considerado como tiempo real, podrán considerarse seguros los equipos de cómputo y telecomunicaciones estableciendo dichas variables dentro de los rangos óptimos

de operación para brindar una vida útil prolongada y una mejor calidad de seguridad de la información.

1.3 Propuesta de solución

Se presenta una plataforma que consiste en una solución de hardware y software, basada en tecnología IoT que permite el monitoreo, medición y análisis de las variables de temperatura y humedad relativa en el interior y exterior del Centro de Datos y telecomunicaciones. Se propone un dispositivo que integre el módulo de desarrollo ESP-32 y el sensor de temperatura y humedad DHT22, desplegando la cantidad mínima necesaria de sensores en puntos estratégicos.

En cuanto a la parte de software, se desarrollará un sitio web basado en la plataforma Node - Red para la implementación de un dashboard con la capacidad de visualizar los datos de temperatura y humedad almacenados en una base de datos de MySQL alojada en la nube. De la misma manera, generar un análisis de datos que otorgue un reporte estadístico permitiendo una acertada toma de decisiones y en caso de ser necesario, realizar el envío de notificaciones mediante correo electrónico y Telegram al identificar una situación de riesgo para el Centro de Datos.

De esta manera se garantizará una eficiencia y calidad similar o superior a la ofrecida por productos de carácter industrial.

1.4 Justificación

Las soluciones basadas en Internet de las Cosas se encuentran en auge dentro del área industrial y del hogar, la integración del IoT beneficia los costos de desarrollo e implementación. Por ello es viable lograr resultados similares e incluso mejores a los esperados cuando se utilizan herramientas o productos industriales.

La intención del proyecto es desarrollar e implementar una alternativa basada en IoT aplicada al monitoreo de temperatura y humedad para el interior y exterior de los Centro de Datos. Esto con una alternativa de hardware a costo menor en relación a los dispositivos ya existentes en el mercado en conjunto de una mejor adecuación y percepción de las condiciones y necesidades de cada cliente.

Además, se plantea una plataforma que propone una alternativa adicional en el mercado para las necesidades de monitoreo de la temperatura, humedad y el análisis de datos que favorecen la adecuada toma de decisiones referentes a la condición ambiental dentro de un Centro de Datos.

Lo anterior al realizar un análisis estadístico de los datos y derivar en una toma de decisiones que salvaguarde la integridad de los equipos informáticos y su información almacenada.

1.5 Objetivo general

Construir una plataforma de IoT que permita la medición, almacenamiento y análisis de las variables de temperatura y humedad de un Centro de Datos, a través de la composición de un dispositivo que combine funciones de monitoreo y alerta para la existencia de condiciones adversas hacia los equipos de cómputo y telecomunicaciones.

1.6 Objetivos específicos

1. Integrar un dispositivo electrónico sensor mediante la integración de la placa de desarrollo ESP-32 WROOM y el sensor de temperatura y humedad DHT22, para realizar el monitoreo de las variables mencionadas dentro y fuera de un Centro de Datos.
2. Recopilar, enviar y almacenar los datos recolectados de temperatura y humedad a una base de datos MySQL a través del protocolo de comunicación MQTT, localizada en un servidor en la nube para su posterior análisis.
3. Diseñar, integrar y desarrollar una plataforma web y dashboard, mediante la implementación de una metodología de diseño para Dashboard y la herramienta de desarrollo Node red; para ejecutar el monitoreo y análisis de los datos.
4. Diseñar e implementar un método de envío de alertas basado en las muestras de temperatura y humedad recopiladas de un Centro de Datos, con la finalidad de brindar seguridad y estabilidad a los equipos e información digital que almacena en su interior.
5. Analizar los datos recolectados de temperatura y humedad mediante una prueba de correlación, utilizando los paquetes estadísticos de la plataforma Node – Red, con la finalidad de realizar un dictamen que indique el estado actual del Centro de Datos.

1.7 Alcance

A continuación se presenta un prototipo que consiste en desarrollar una plataforma IoT orientada a la medición de las variables de temperatura y humedad para los Centros de Datos, considerando la medición interna y externa del mismo.

El sistema será capaz de recolectar y almacenar la información en bases de datos para realizar el análisis de las muestras que indiquen las condiciones actuales e históricas del CD a través de los dispositivos sensores, ubicados en zonas específicas dentro y fuera de la habitación que permiten recolectar la mayor cantidad de registros relevantes para emitir un dictamen actual. Así mismo, la plataforma deberá de realizar un monitoreo constante que permita localizar situaciones desfavorables que colocan en riesgo a los equipos de cómputo, equipos de almacenamiento y equipos de red localizados en su interior y con ello enviar las notificaciones pertinentes mediante la plataforma de mensajería Telegram y correo electrónico.

El alcance de este proyecto se limita al análisis de los datos los cuales permiten la elaboración de reportes que dictaminan las condiciones actuales del Centro de Datos, detallando la distribución de las temperaturas en los diferentes puntos dentro y fuera de la habitación, así como su correlación.

Capítulo 2 Marco teórico.

En este capítulo se declararán aspectos relevantes en torno al Internet de las Cosas con la finalidad de describir de la manera más comprensible cada una de sus características, desde la definición de concepto, desarrollo, impacto en la sociedad, composición, estructuras de red utilizadas en su implementación entre otras.

El IoT es el eje central del proyecto propuesto en este documento, por lo que es de importancia su entendimiento e impacto en las diferentes áreas de aplicación. Destacando su adopción en los Centros de Datos como una alternativa para la supervisión, monitoreo y toma de decisiones orientadas al cuidado y mantenimiento de los equipos de cómputo y red que almacenan, sin olvidar el recurso máspreciado por algunas empresas, la información que estos equipos resguardan.

2.1 Introducción al Internet de las Cosas.

La primera ocasión en el que se utilizó el término Internet de las Cosas fue en el año 1999 por Kevin Ashton definiendo este concepto como la interacción de los objetos de uso cotidiano interconectados capaces de trabajar entre sí y cooperar con dispositivos vecinos mediante la red.

Más tarde, en 2014 Sheikh Ferdoush y Xinrong Li realizaron la presentación de un diseño de red de sensores inalámbricos con un Raspberry Pi para el monitoreo de aplicaciones ambientales utilizando un dispositivo Arduino con módulos Zigbee (A. Medina-Santiago, 2020)

Los dispositivos de IoT (Internet of Things) pueden describirse como una evolución de los dispositivos M2M (Machine to machine) una solución para las situaciones en donde se requiere de una mayor cantidad de dispositivos interconectados compartiendo la información de su entorno. Gracias a la estandarización del protocolo de Internet (IP), el Internet de las cosas funge como un grupo de esquemas tradicionales M2M (Herrero, 2021).

El Internet de las cosas ha tomado un papel más relevante en el desarrollo tecnológico en búsqueda de satisfacer los requerimientos de una conectividad constante de la sociedad y su integración con los dispositivos de uso común. Actualmente un solo dispositivo es capaz de comunicarse de manera inalámbrica con uno o más dispositivos e intercambiar información desde cualquier punto conectado a Internet.

Estos dispositivos anteriormente eran elementos aislados y dependían únicamente de sus propios recursos internos para la transmisión y recepción de la información. Actualmente pueden elaborarse diferentes redes de sensores distribuidas en grandes extensiones de terreno, con grandes complejidades de topología de red y comunicación (Monteiro, 2018).

Según Duarte Raposo (2018) las tecnologías que usan el cable como medio de transporte continúan prevaleciendo en el sector industrial derivado de su gran confiabilidad para el control y monitoreo de procesos. Sin embargo, dichas tecnologías implican un alto costo de instalación, grandes cantidades de tiempo para su implementación y una gran limitación hacia la industria 4.0, permitiendo que la industria mire con gran atracción las redes de sensores inalámbricas basadas en IoT.

Cisco Systems (2022) en el reporte anual de internet CISCO 2018-2023, menciona la espera de un crecimiento considerable en la cantidad de conexiones entre dispositivos M2M multiplicándose de 6,100 millones en 2018 a 14,700 millones para el año 2023. Lo cual impulsará el crecimiento del Internet de las Cosas.

En ese reporte se estima que las aplicaciones orientadas a domótica, seguridad de edificios, sistemas de videovigilancia y aplicaciones de seguimiento representarán el 48% del total de las conexiones realizadas por dispositivos M2M para el año 2023. Siendo la categoría de automóviles inteligentes la que tendría un mayor crecimiento seguida por el área de ciudades inteligentes.

2.2 Composición de una solución de IoT

Después de la primera definición del Internet de las cosas realizada por Kevin Ashton en 1999, se realizaron diversas interpretaciones que incluían distintas áreas de aplicación a esta nueva tecnología resaltando la importancia del Internet como puente entre diferentes servicios, cosas y humanos, expresado de la siguiente manera:

$$\text{IoT} = \text{Sensor} + \text{Red} + \text{Datos} + \text{Servicios} \text{ (Mansaf Alam, 2020).}$$

Si bien como se redacta en el párrafo anterior la integración de una solución basada en Internet de las Cosas, considera diferentes aspectos fuera del ámbito físico y estructural del dispositivo que comúnmente se conoce como hardware, es importante conocer la operación interna del dispositivo con la finalidad de considerar todas las oportunidades de mejora en su

desarrollo. Algunos autores describen los componentes típicos de un dispositivo de Internet de las cosas de la siguiente manera:

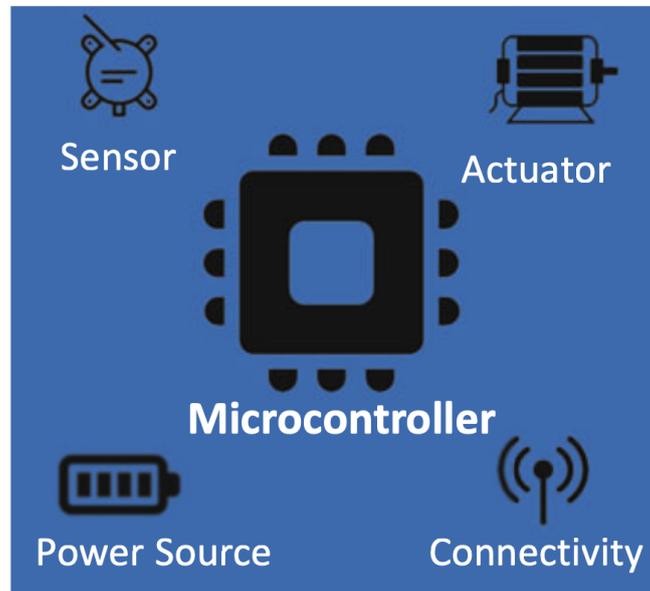


Figura 1. Componentes comúnmente encontrados en un dispositivo IoT (Mansaf Alam, 2020).

- **Sensores:** Los sensores son los encargados de reconocer las variables físicas que se encuentran en el entorno del dispositivo las cuales pueden ser cambios en luz, calor, movimiento o reacción química. Una vez que es detectado un cambio de estado en el sensor este produce una salida que puede ser analógica o digital, de manera que esta pueda ser interpretada.
- **Actuadores:** Son los encargados de realizar una acción utilizando energía mecánica o mediante movimiento, siendo este un dispositivo similar al transductor, de esta manera tienen la capacidad de transformar la energía térmica en movimiento, la energía mecánica giratoria en movimiento lineal (o viceversa) y la energía eléctrica en movimiento o energía mecánica (por ejemplo, un motor eléctrico).
- **Dispositivo de comunicación:** Es el medio por el cual se realiza la transmisión de información entre el dispositivo e Internet comúnmente realizada de manera inalámbrica debido a su facilidad de implementación y bajos costos.
- **Fuente de alimentación:** Por su misma naturaleza los dispositivos IoT son equipos que requieren del consumo de energía eléctrica para su funcionamiento. Sin embargo,

al tratarse de un dispositivo de esta clase, cotidianamente son dispositivos con una fuente de alimentación limitada. Las áreas de implementación de estos instrumentos tecnológicos implican su ubicación en zonas remotas de difícil acceso con largos periodos de aplicación (meses y en ocasiones años).

- **Microcontrolador:** Este realiza la obtención, procesamiento y análisis de los datos enviados por el sensor. De la misma manera determina las acciones del actuador y realiza el control de los objetos dentro del dispositivo IoT. El dispositivo microcontrolador puede variar de acuerdo a los requerimientos de la solución a implementar. Sin embargo, las características de procesamiento al igual que la fuente de alimentación son limitadas, debido a que este deberá de ser capaz de realizar las funciones necesarias con un bajo consumo y al mismo tiempo conservar un tamaño reducido. Además, deberá de brindar una fácil programación, flexibilidad, compatibilidad y bajo costo.

De la misma forma en la que se encuentra un modelo de referencia orientado a protocolos de red (Modelo OSI), en IoT se dispone de un modelo que permite la estandarización de su arquitectura. De acuerdo a lo propuesto en el IoT World Forum evento organizado por Cisco en colaboración con empresas como IBM, Rockwell Automation, entre otros, se contemplan siete capas las cuales representan desde el dispositivo sensor final hasta el cómputo en la nube, como se muestra en la Figura 2, al igual que el modelo OSI la finalidad es contribuir a un mejor entendimiento y colaborar en la interoperabilidad (Farshad Firouzi, 2020).



Figura 2. Modelo de referencia por el IoT World Forum (Farshad Firouzi, 2020).

Además del modelo presentado en la Figura 2 por la empresa Cisco, existe una arquitectura basada en solo cuatro capas, este último modelo de arquitectura es el mas aceptado

actualmente, considera: la capa de sensor - conectividad, una capa de puerta de enlace y red, la capa de gestión de servicios y al final, la capa de aplicación, como se muestra en la Figura 3.

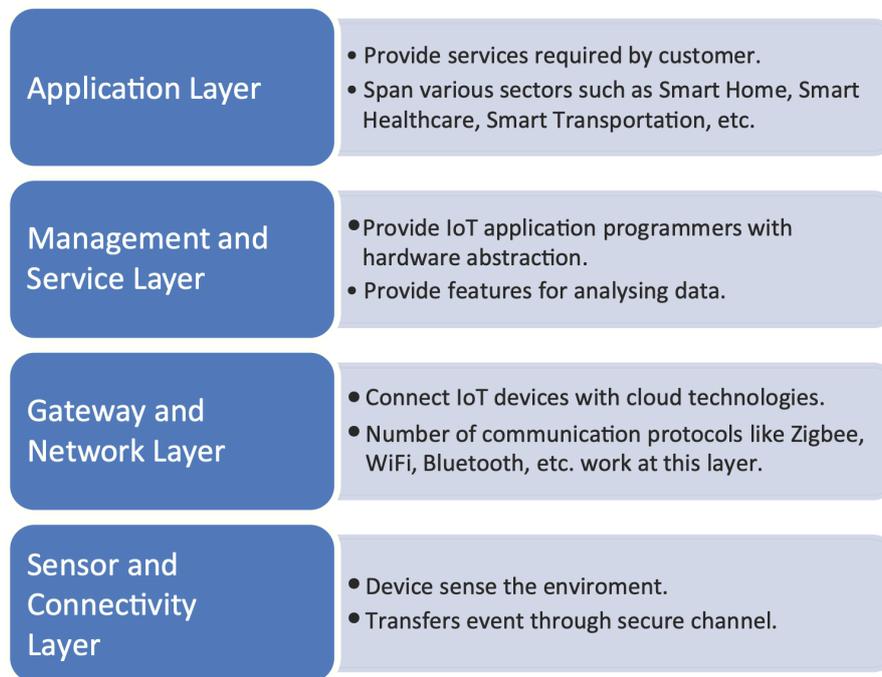


Figura 3. Modelo de referencia IoT de cuatro capas (Mansaf Alam, 2020).

La primera capa consiste en los sensores y actuadores quienes son los encargados de la recopilación de los datos de su entorno, existen diferentes tipos de sensores como los de temperatura, movimiento, humedad, gas, etc. Se contemplan dispositivos capaces de realizar una configuración automática con solo conectarse a otro dispositivo, creando un canal seguro para la transferencia de datos.

La capa de puerta de enlace y de red es la encargada de realizar la transferencia de datos de manera segura. Se apoya de tecnologías como Zigbee, RFID, Wi-Fi, 4G LTE, entre otras. En esta capa se proporcionan herramientas que permiten la comunicación con diferentes soluciones de cómputo en la nube y almacenamiento de datos.

La siguiente capa de gestión se encarga de procesar los datos obtenidos y ejecutar órdenes o instrucciones de manera inteligente, con base en ellas es posible aplicar soluciones analíticas que promueven una toma de decisiones inteligente.

Por último, se cuenta con la capa de aplicación que proporciona los servicios a los usuarios finales. En esta parte la información es representada de manera clara y concisa, el objetivo

principal es la satisfacción del usuario, mostrando los datos procesados anteriormente y con base en ello, dar certeza y veracidad a la información.

La capa de aplicación permite realizar la entrega de información en diferentes sectores como la automatización industrial, transporte inteligente, ciudades inteligentes, salud, agricultura y como se analiza en este documento, el sector de las telecomunicaciones e informática (Mansaf Alam, 2020).

2.3 Áreas de aplicación del IoT.

Las aplicaciones relacionadas a los dispositivos de Internet de las cosas abarcan una gran variedad de industrias, un ejemplo de las áreas con mayor crecimiento y evolución en los últimos años son la electrónica de consumo, los dispositivos portátiles y la robótica.

Otras industrias influenciadas por el IoT son la automotriz mediante el desarrollo de los vehículos autónomos, la agricultura en donde se aplican soluciones que incluyen silvicultura, monitoreo de ganado y la agricultura en sectores urbanos aplicados en pequeña escala para zonas densamente pobladas. Existen soluciones orientadas a detectar la contaminación y el monitoreo de la calidad del aire, el agua, el suelo y el clima. Quizás el aspecto más tangible para la ciudadanía es la implementación de avances tecnológicos en la automatización de viviendas y edificios, abriendo áreas como el control de acceso, el monitoreo de carreteras y vías férreas (Herrero, 2021).

Una de las bondades más destacadas de esta tecnología es la conexión de objetos de uso cotidiano, los cuales son dispositivos localizados en el mundo físico y utilizados en las actividades del día a día con el plano digital, a través de plataformas web y el cómputo en la nube; estas recopilan y analizan la información recabada del mundo físico (José Ignacio Vega-Luna, 2019).

Posteriormente, de acuerdo a lo mencionado por Gitanjali Mehtal (2018) la interacción de los dispositivos IoT puede realizarse intercambiando información entre ellos y después hacia los sistemas de control y gestión dentro de grandes Centros de Datos.

2.4 Convergencia de la tecnología operacional (TO) y la tecnología de la información (TI) en la industria.

En el sector industrial existen herramientas, equipos de control y de automatización que son gestionados por lo que se conoce como tecnología operacional (TO). Por lo regular son

sistemas que interactúan con sensores, actuadores y controladores, todos ellos necesarios para la ejecución de las actividades operativas y de producción dentro de una cadena de fabricación, plantas industriales y/o sistemas utilizados en la dirección del negocio o empresa.

Por el otro lado, está la tecnología de la información (TI), que se encarga de lo relacionado a los sistemas de información, basándose en la computación, el almacenamiento de datos y la configuración de las redes necesarias para la operatividad de los procesos dentro de la industria. Todos estos con la función de apoyar la operación de sistemas de automatización.

Un ejemplo de lo anterior, son los sistemas de gestión con clientes, los sistemas de cadena de suministro, sistemas orientados a logística y distribución, así como de los recursos humanos necesarios para el desarrollo del producto o servicio.

Las áreas de tecnología anteriormente mencionadas eran ubicadas como mundos totalmente independientes, separadas a nivel técnico y organizacional. Con la llegada de la digitalización empresarial se estableció una relación entre ambos sectores, una de las grandes motivaciones para fomentar una conexión entre ellos, es considerar esta unión como una gran herramienta en contra de los ataques cibernéticos dirigidos a las áreas de producción.

En años recientes se ha documentado un gran aumento en el número de ataques realizados al sector industrial como: Stuxnet, Dark Energy entre otros. Todo esto orilla a las empresas a trasladarse de la industria 3.0 a la 4.0. TO tiene grandes necesidades con las que TI tiene como habilidades que permiten la operación de aplicaciones en beneficio de mejorar la calidad de los procesos y transformar las cadenas de suministro (Yassine, 2021).

La tecnología operacional se centra en la recopilación de datos generados en tiempo real para su aplicación en áreas de seguridad y de equipos de control, los cuales regularmente se encuentran operando las 24 horas del día, sin la existencia de una ventana de tiempo disponible para la aplicación de actualizaciones o apagados inesperados (Salam, 2019).

La digitalización dentro de las operaciones del sector industrial considera utilizar tecnologías futuristas que permiten la interconexión de los dispositivos a través de la red. La red debe considerar la conexión de personas y cosas mediante Internet, lo cual implica relevantemente la adición de retos y áreas de oportunidad hacia los dispositivos de Internet de las cosas respecto a mantener un estricto control de seguridad.

Como se mencionó anteriormente, muchas empresas ya han sido víctimas de ataques causados por fallas en la ciberseguridad. Existe una tendencia al alza en los altercados que tienen como objetivo el sector industrial, dos de los más recientes es Wanna Cry y TRITON aplicados en contra de una empresa petroquímica de Arabia Saudita identificados en 2017.

Los retos presentados en las soluciones de Internet de las cosas con visión al área industrial implican la integración de artefactos que requieren un bajo consumo de energía, proveen una vida útil prolongada, la disponibilidad de los datos en tiempo real y una baja posibilidad de daños físicos causados por el medio ambiente, el ser humano u otros equipos.

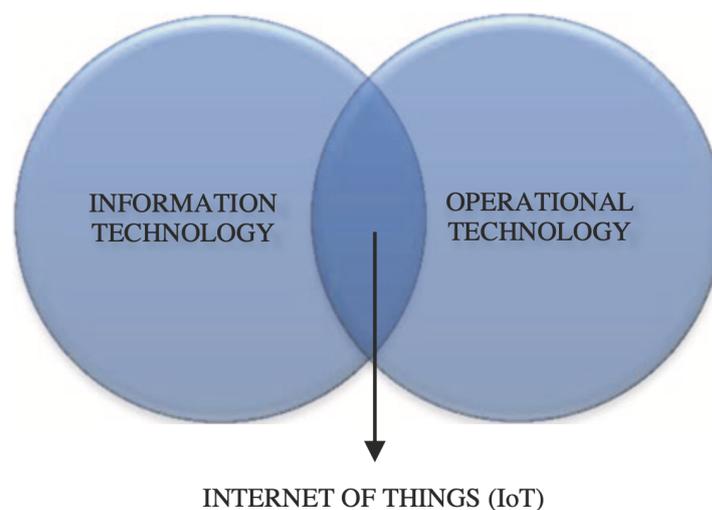


Figura 4. Convergencia entre TI y TO (Mansaf Alam, 2020).

Como se muestra en la Figura 4, al referirse a una convergencia de las tecnologías de TI y TO se describe al Internet de las Cosas, siendo esta tecnología un camino para la integración de software y hardware utilizados en el mundo de TI, que tiene como fin realizar el monitoreo de eventos, procesos y dispositivos utilizados en el ámbito industrial y empresarial de TO. Lo que en conjunto permite al usuario final ya sea un cliente, personal técnico (operador o personal de mantenimiento) o personal administrativo (supervisor, gerente o directivo) realizar los cambios y tomas de decisiones pertinentes, de acuerdo en la situación en curso, respaldadas por los dispositivos físicos en la planta (interruptores, sensores, válvulas, motores, etc.) (S. Mantravadi, 2020).

Considerando la gran cantidad de dispositivos de Internet de las Cosas previstos en los próximos años, es necesario rediseñar la manera en la que se implementan las aplicaciones y servicios, particularmente sí se refiere al sector industrial en donde se encuentra la mayor percepción de capital a nivel empresarial.

Los miles de millones de dispositivos pronosticados deberán tener la capacidad de interacción y procesamiento de grandes cantidades de información. En este sentido las soluciones de IoT son un facilitador para la creación de nuevos enfoques, oportunidades, innovación y desarrollo de nuevos modelos disruptivos de negocio los cuales brindarán una mayor captación de información acerca de los recursos físicos disponibles.

2.5 Servicios en línea y su impacto en la sociedad.

Actualmente, los servicios en línea representan una gran herramienta siendo de vital importancia para la sociedad, desde ámbitos relacionados con la comunicación en tiempo real, gracias a los servicios de mensajería instantánea, así como los médicos, financieros, de seguridad, vigilancia, educativos y sociales. Incluso existen reportes indicando que la población estadounidense destina un promedio de 24 horas por semana para la consulta de contenido en línea.

Las actividades en línea más importantes realizadas por la sociedad incluyen las relacionadas a la comunicación directa como correos electrónicos, mensajería instantánea, llamadas telefónicas, redes sociales, recopilación de información, transmisión de medios y videojuegos.

La influencia de los equipos de cómputo y su conexión a Internet para la generación del cómputo en la nube y los servicios web han logrado alcanzar áreas significativas para la sociedad y el sector empresarial de todo tipo. Anteriormente, las empresas utilizaron dichas herramientas principalmente como una plataforma de comunicación y marketing. Sin embargo, su desarrollo ha impulsado el crecimiento e implementación de nuevos modelos comerciales innovando en empresas como Google, Amazon y Facebook (Sunyaev, 2020).

Todos estos servicios se encuentran alojados en equipos de cómputo de alto rendimiento (servidores), trabajando en conjunto con routers, switches y dispositivos de almacenamiento de información, los cuales se encuentran activos de manera ininterrumpida, resguardados en habitaciones comúnmente conocidas como SITE o Centro de Datos (Hallstrom, 2017).

2.6 Alojamiento de servicios de Internet en Centros de Datos.

Derivado de la gran importancia que un Centro de Datos o SITE tiene en la actualidad dentro del mundo tecnológico y de servicios, resulta relevante mantenerlo en condiciones de estabilidad, seguridad y rendimiento óptimas.

Existen diferentes riesgos o problemas técnicos, incluyendo al factor humano, que pueden causar daño a la integridad de un SITE. Quizás, uno de los riesgos potenciales más relevantes para el sector industrial es el costo por tiempo de inactividad, a pesar de que este costo varía dependiendo el sector industrial al que se refiere, este puede oscilar alrededor de \$9,000 dólares por minuto, registrándose un aumento de éste hasta en un 60% durante los años que van del 2010 al 2016 (Hallstrom, 2017).

Los Centros de Datos suelen mantenerse en constante actualización y supervisión mediante auditorías internas y/o externas realizadas por diferentes instituciones y empresas en su caso, algunos de los aspectos más supervisados son los mecanismos y procedimientos de acceso, con la finalidad de garantizar la seguridad e integridad de los mismos impidiendo la entrada de personal no autorizado.

2.7 Cuidados y riesgos de los Centros de Datos.

Existen trabajos basados en IoT orientados al monitoreo de las condiciones de temperatura y humedad, un primer acercamiento en donde se promueve la implementación de dispositivos sensores para el monitoreo de dichas variables es el trabajo desarrollado por Sheik Ferdoush que presenta un prototipo de red con dispositivos inalámbricos utilizando las placas de desarrollo Raspberry Pi y Arduino, los cuales tienen la finalidad de realizar un monitoreo ambiental.

En el trabajo mencionado anteriormente, los sensores cuentan con un módulo Xbee que utiliza Zigbee como protocolo de comunicación, orientados a una estación base para el procesamiento de los datos recolectados en una base de datos y su presentación en un servidor web. Posteriormente la estación base presenta la información en Internet de manera compatible con dispositivos móviles y equipos de cómputo (Sheikh Ferdoush, 2014).

Adicionalmente, se localiza el trabajo realizado por Ignacio Vega-Luna en donde se destaca el monitoreo de los sistemas de alimentación de energía para Centros de Datos con la aplicación de tecnologías como Zigbee y LoRA (José Ignacio Vega-Luna, 2019).

De acuerdo con la Asociación Internacional de Expertos en Cuartos de Cómputo y la Sociedad de Ingenieros Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, ICREA y ASHRAE por sus siglas en inglés respectivamente, la temperatura de un Centro de Datos o SITE deberá localizarse entre 18° C y 27° C, con un factor de humedad relativa entre 40% y 60% (A. Medina-Santiago, 2020).

Adicionalmente, algunos autores mencionan que el rango de temperatura adecuado para el correcto funcionamiento de los ordenadores generalmente debe oscilar entre 15° C y 25° C aproximadamente (Alegre Ramos, 2011).

Algunos dispositivos están diseñados para realizar un apagado forzado al encontrarse en una situación de riesgo causada por altas temperaturas. En general la temperatura ambiente óptima en un Centro de Datos es de 21° C a 23° C. La mayoría de los equipos de cómputo pueden operar en rangos más amplios de temperatura, pero una temperatura cercana a 22° C es lo mejor para mantener niveles seguros de humedad relativa asociados.

La humedad relativa es la cantidad de humedad en una muestra de aire a una temperatura dada expresada en porcentaje, donde 0% hace referencia a que el aire se encuentra completamente seco y por el contrario 100% representaría la presencia de vapor de agua. Si el aire retiene toda la humedad que puede para un conjunto específico de condiciones, se dice que está saturado (100% de humedad relativa). Los niveles ambientales entre el 45% y el 50% de HR son óptimos para la confiabilidad de los equipos de cómputo.

La mayoría de los equipos de procesamiento de datos pueden operar dentro de un rango de HR bastante amplio (20% a 80%), pero se prefiere el rango de 45% a 50% por varias razones entre las que se destacan las siguientes:

- Corrosión: los niveles altos de humedad pueden causar condensación dentro de los equipos informáticos, lo que puede provocar la corrosión de los componentes internos (Snevly, 2001).
- Descarga electrostática: las descargas electrostáticas pueden causar interferencias intermitentes en el equipo. Puede dañar con facilidad componentes importantes ubicados en la placa base del dispositivo. (ASHRAE, 2020). La energía electrostática se genera fácilmente y se disipa con menor facilidad cuando la humedad relativa está por debajo del 35% y se vuelve crítica en rangos más bajos (Snevly, 2001).

- Impacto en el rendimiento: La exposición a un alto índice de temperatura puede ocasionar una disminución en el rendimiento del sistema.
- Impacto en la vida útil: La presencia de altas temperaturas reduce el tiempo de vida de algunos componentes electrónicos como, los capacitores electrolíticos, circuitos integrados, baterías, unidades de disco duro y ventiladores (ASHRAE, 2020).

Algunas empresas proponen manuales o guías en donde son mencionadas buenas prácticas para el diseño e implementación de la infraestructura de los Centros de Datos, así como algunos componentes a considerar para garantizar una mejor calidad de instalación y también para los equipos de red como servidores, routers y switches.

Además de las situaciones de riesgo mencionadas anteriormente, el factor humano es una de las causas más regulares en la presencia de fallas o errores en los Centros de Datos, correspondiendo al 70% error humano y 30% otros factores. De acuerdo al artículo “The 12 Essential Elements of Data Center” es de vital importancia contar con un plan operativo y de mantenimiento que considere todos los componentes vitales en un Centro de Datos.

Este documento adecuadamente diseñado e implementado minimizará el riesgo, reducirá los costos e incluso proporcionará una ventaja competitiva para el negocio al que sirve el Centro de Datos. Sin embargo, un programa mal implementado puede degradar la infraestructura de manera acelerada poniendo a las personas, los sistemas de TI y al propio negocio en riesgo de daño o interrupción. De acuerdo a Schneider Electric el primer elemento esencial en la operación de los Centros de Datos es garantizar la seguridad y la salud ambiental (Operations, 2017).

Los cuidados relacionados a los CD deben considerar el análisis de diferentes factores de riesgo en los que se ven involucrados. Existen riesgos presentes para el personal operativo encargado, situaciones peligrosas por la presencia de químicos o fallas mecánicas que pueden ser causa de lesiones y la muerte en casos sin una atención adecuada. Todo lo anterior debe ser considerado dentro de un programa integral que promueva la eficiencia laboral, el cuidado de la salud de la fuerza laboral mediante un análisis de riesgos y donde se asegure la integridad de los equipos informáticos. Con ello se reducirá la probabilidad de presentar daños en los equipos de cómputo, interrupciones en los sistemas y que en conjunto se conviertan en multas y/o sanciones por parte de las autoridades o empresas correspondientes (Operations, 2017).

2.8 Hardware y software seleccionado para su implementación en el proyecto.

Existe una gran variedad de placas de desarrollo orientadas para Internet de las Cosas. Sin embargo, la placa de desarrollo seleccionada en este proyecto es la ESP32-Wroom-32 debido a que contiene características que la destacan para su facilidad de aplicación en diferentes rubros.

Primordialmente, su aplicación en este proyecto otorga bajo consumo de energía, rendimiento adecuado para la ejecución de códigos, compatibilidad con el IDE de arduino y la librería “DHT.h” requerida para la comunicación con el sensor DHT22, esto garantiza una comunicación eficiente entre el sensor y la placa de desarrollo, además permite obtener una señal calibrada para la recopilación de los valores de temperatura y humedad.

Por otra parte, su tamaño contenido permite obtener una implementación discreta. Lo cual permitirá colocarlo en diferentes puntos espaciales del Centro de Datos sin sacrificar espacio dentro del mismo.

En comparación con su antecesor, la placa de desarrollo ESP8266, consta de un mejor procesador, mayor capacidad de SRAM y memoria Flash. Considerando como referencia la comparación realizada por Alexander Maier (2017) quien menciona al microcontrolador ESP32 Wroom-32 como una excelente opción para dispositivos IoT, derivado de sus propiedades de buen rendimiento y precio en un factor de tamaño amigable para su implementación.

A continuación en la Tabla 1 se muestran las especificaciones del microcontrolador ESP32-WROOM-32 proporcionadas por el fabricante.

Categorías	Elementos	Especificaciones
Certificación	Certificación Wi-Fi	Wi-Fi Alliance
	Certificación Bluetooth	BQB
	Certificación Green	RoHS/REACH
Pruebas	Confiability	HTOL/HTSL/uHAST/TCT/ESD
Wi-Fi	Protocolos	802.11 b/g/n (802.11n hasta 150 Mbps)
	Rango de frecuencia central del canal operativo	2412 – 2484 MHz
Bluetooth	Protocolos	Bluetooth v4.2 BR/EDR y Bluetooth LE
	Radio	Receptor NZIF con -97 dBm de sensibilidad

		Transmisor de clase 1, clase 2 y clase 3
		AFH
	Audio	CVSD y SBC
Hardware	Interfaces del módulo	Tarjeta SD, UART, SPI, SDIO, I2C, LED, PWM, motor PWM, I2S, IR, contador de pulsos, GPIO, sensor táctil capacitivo, ADC, DAC, compatible con ISO11898-1.
	Cristal integrado	Cristal de 40 MHz
	Flash SPI integrado	4 MB
	Voltaje de operación/ Fuente de alimentación	3.0 – 3.6 V
	Corriente de operación	80 mA
	Corriente mínima suministrada por la fuente de alimentación	500 mA
	Rango de temperatura ambiente de funcionamiento recomendado	-40° C hasta 85° C
	Dimensiones	18 mm x 25.5 mm x 3.10 mm
	Nivel de sensibilidad a la humedad	Level 3

Tabla 1. Especificaciones técnicas ESP32-WROOM-32 obtenidas de la hoja técnica oficial (Datasheet, 2022).

En relación al sensor de temperatura y humedad, el elemento seleccionado es el DHT22. El dispositivo fabricado por Aosong Electronics denota diferentes características favorables de acuerdo a las conclusiones proporcionadas por Yasser Asrul Ahmad et al (2021).

En dicho documento se desarrollan comparaciones del sensor DHT22 contra sensores utilizados comúnmente en aplicaciones de IoT como el DHT11 y el SHT71, destacando su exactitud, mayores rangos de operación para las variables de temperatura y humedad y un costo menor. Asimismo, se cotejan los resultados obtenidos por dicho transductor contra elementos de aplicación industrial como el sensor 6517-TP, evaluados en condiciones de congelación y punto de ebullición (Y.A. Ahmad, 2021).

Lo anterior otorgó confiabilidad en la elección del sensor DHT22 como dispositivo para la medición de temperatura y humedad. A continuación se muestra la Tabla 2 con sus especificaciones técnicas.

Modelo	DHT22
Fuente de alimentación	3.3-6V DC
Señal de salida	Señal digital mediante un solo canal de salida
Elemento de sensado	Capacitor de polímero
Rangos de operación	Humedad: 0 a 100% Temperatura: -40 a 80 grados celsius
Exactitud	Humedad $\pm 2\%$ (Máximo $\pm 5\%$) y temperatura ± 0.5 Celsius
Resolución o sensibilidad	Humedad 0.1%. Temperatura 0.1 celsius
Repetibilidad	Humedad $\pm 1\%$ Temperatura: ± 0.2 Celsius
Histéresis de humedad	$\pm 0.3\%RH$
Estabilidad a largo plazo	$\pm 0.5\%$ humedad/año
Periodo de sensado	2 segundos
Intercambeable	Completamente intercambiable
Dimensiones	Pequeño: 14 mm x 18 mm x 5.5 mm Grande: 22 mm x 28 mm x 5 mm

Tabla 2. Tabla de especificaciones técnicas del sensor de temperatura y humedad DHT22 obtenida de la hoja técnica oficial (Digital, 2022).

Tinkercad.

Derivado de que el proyecto propuesto considera la integración de un dispositivo sensor con los dos equipos mencionados anteriormente, es importante contemplar el proceso de diseño y elaboración de una carcasa de protección,



Figura 5. Logotipo Tinkercad Autodesk

Por lo anterior, se consideró la herramienta Tinkercad el cual es un software de modelado 3D en línea, proporcionado por la empresa Autodesk, otorga al usuario una herramienta básica para el diseño de modelos de geometría sólida constructiva permitiendo realizar la colocación,

ajuste y combinación de elementos 3D. Cabe mencionar que la plataforma es gratuita por lo que fue considerada para el desarrollo del prototipo en este proyecto.

Protocolo MQTT.

Una de las herramientas más relevantes del proyecto es el protocolo de comunicación MQTT. El cual es un servicio de mensajería binaria basado en una comunicación publicador-suscriptor. De acuerdo con la plataforma Hive MQ, es una comunicación estandarizada por OASIS e ISO, permitiendo conectar dispositivos IoT de manera fiable y escalable por internet.

El servicio permite diferentes niveles de calidad de servicio, máximo una vez, al menos una vez y exactamente una entrega, esto brinda la oportunidad de considerar diferentes políticas de seguridad para el envío y entrega de información a través de los canales de comunicación generados en este protocolo. Los dispositivos IoT pueden enviar mensajes a través de un tema (topic) específico, así los suscriptores interesados podrán recibir los mensajes (HiveMQ, 2023).

Eclipse Mosquitto es un agente de mensajes MQTT de código abierto orientado en otorgar comunicación de bajo consumo y baja latencia, cualidades que otorgan beneficios a dispositivos con recursos limitados como los utilizados en este proyecto (AISBL, 2025).



Figura 6. Logotipo Eclipse Mosquitto

Dentro de este proyecto Mosquitto permite la implementación de un canal de comunicación específico para cada uno de los sensores localizados dentro y en su caso, fuera del Centro de Datos.

Es importante mencionar que la implementación del proyecto propuesto considera la apertura (en caso de que la red lo requiera) del puerto UDP 1883 (puerto necesario para el envío de mensajes MQTT) en la red local del Centro de datos o SITE a monitorear, como parte de las adecuaciones necesarias para la implementación en campo.

Node – Red.

Es importante contar con una herramienta que permita la recoplicación y gestión de los mensajes MQTT para su posterior representación gráfica. Para lo anterior se utilizó la plataforma Node – Red.

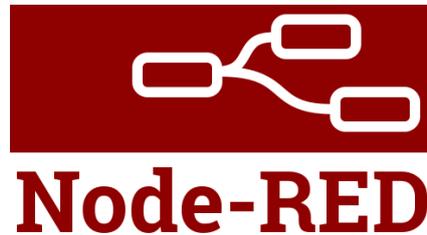


Figura 7. Logotipo Node – Red

Node – Red es una herramienta que permite la conexión de dispositivos, hardware, API y servicios en línea mediante un editor de flujo que puede ser utilizado desde cualquier navegador web. Con la flexibilidad que brinda la implementación de lenguaje JavaScript, construido a partir de la tecnología Node JS utilizando un modelo de no bloqueo.

La plataforma permite hasta más de 225,000 módulos desde su repositorio. La herramienta surgió del equipo de servicios de tecnologías emergentes de IBM, comenzó como una prueba de concepto para visualizar y manipular canales como el utilizado por el protocolo MQTT, para posteriormente ser una herramienta de código abierto a partir del 2013 (Node - RED, 2023).

Microsoft Azure.

La instanciación de un broker MQTT y la plataforma Node – Red requieren ser instalados en un sistema operativo para su operación, derivado de lo anterior se identificó la necesidad de contar con un equipo de cómputo que cuente con la posibilidad de ser consultado desde cualquier punto de Internet. Para cubrir esta necesidad se realizó la configuración de una máquina virtual a través de Microsoft Azure.



Figura 8. Logotipo Microsoft Azure.

Microsoft Azure es la herramienta proporcionada por Microsoft, basada en un modelo de suscripción compuesta por un conjunto de servicios en la nube que brindan la oportunidad de crear, ejecutar y administrar aplicaciones en varias nubes.

Algunos de los servicios ofrecidos son:

- Máquinas virtuales: Permite crear máquinas virtuales (VM) tanto de Linux como de Windows pudiendo reutilizar licencias locales para utilizarlas en máquinas virtuales con Windows Server.
- Azure Backup: La solución de copias de seguridad destaca por su sencillez y rapidez de recuperación de datos, facilita la realización de una copia de seguridad con un sólo clic.
- SQL de Azure: La gestión de bases de datos SQL en la nube de Azure permite trabajar con las bases de datos empresariales de forma externalizada, permitiendo utilizar aplicaciones en la nube modernas con Azure SQL Managed Instances.
- Windows Virtual Desktop: El trabajo a distancia o teletrabajo se puede implementar de forma rápida y sencilla con Azure, proporcionando escritorios virtuales para múltiples aplicaciones (Azure, 2023).

Se realizó la configuración de una máquina virtual basado en una suscripción mensual base con sistema operativo Linux y la instanciación de las herramientas Node – Red y Mosquitto MQTT. Esto permite la consulta de un Dashboard visible desde cualquier punto de Internet y al mismo tiempo, brindar un bróker MQTT como canal de comunicación MQTT a la espera de los mensajes de cada uno de los sensores ubicados en el Centro de Datos.

Hospedaje web y servidor de base de datos.

Posterior a la recepción de los datos mediante el protocolo MQTT es necesario almacenarlos para realizar posteriormente un análisis correspondiente, por lo que es importante contar con una base de datos. Para la implementación de la base de datos en MySQL se detectó la necesidad de contar con un servidor externo, con la capacidad de acceder de manera remota desde el servicio de Node – Red. Asimismo contar con un servicio de hospedaje web que permita el despliegue de la plataforma web otorgando acceso desde cualquier punto de internet.

Para lo anterior se contrato el servicio de hospedaje web y servidor de base de datos el cual opera con el Sistema Operativo Linux CENTOS, ejecutando Apache Server 2.4.53 y la versión

de PHP siendo 8.0.18. La versión de MySQL es 10.3.34 en conjunto con el Gestor de Base de Datos denominado PhpMyAdmin en la versión 4.9.7. Todo lo anterior se encuentra incluido en un plan de renta anual con el proveedor “Hospedando.mx”.

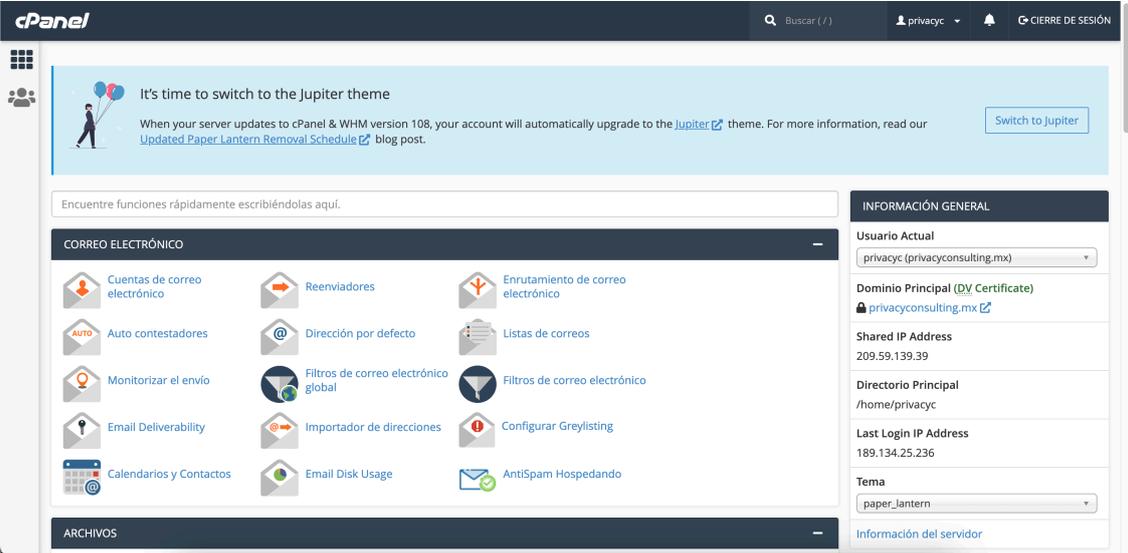


Figura 9. Captura de pantalla Cpanel (panel administrativo suministrado por el servicio hospedando.mx).

Hospedando.mx es una empresa mexicana con sede en el estado de Jalisco, orientada en el hospedaje web regulada por la autoridad regulatoria de dominios en México, al ser una empresa registrador acreditado (Hospedando.mx, 2025).

Capítulo 3 Estado del arte.

Existen una gran cantidad de estudios y artículos científicos relacionados al cuidado y mantenimiento preventivo de los Centros de Datos; los cuales son considerados sitios en donde se encuentra una infraestructura informática la cual proporciona un área de trabajo confiable para la localización y operación de servidores, dispositivos de almacenamiento y de redes de telecomunicaciones, todo estos identificados como equipos de procesamiento de datos por su siglas en inglés DPE (Data processing equipment) (Rambo, 2007).

Un ejemplo de artículo científico enfocado a los Centros de Datos es el trabajo orientado en lograr una reducción del consumo energético de los Centros de Datos en donde se propone una mejora en la operación de las unidades de aire acondicionado, redireccionando el aire caliente localizado en zonas denominadas como puntos calientes dentro del Centro de Datos. Como lo mencionan en su documento, los autores He, Z., He, Z., Zhang, X. et al. Quienes proponen una redistribución del sistema de ventilación que permite evaluar la recirculación del aire expulsado por cada rack además de implementar un algoritmo para la optimización de la distribución energética en función de minimizar la temperatura dentro de la habitación (He, 2016).

Garantizar las condiciones de temperatura y humedad dentro de un CD (Centro de datos) puede ser una tarea complicada dado que en su interior se localizan diferentes clases de dispositivos electrónicos, informáticos y fuentes de alimentación, los cuales consideran diferentes rangos de temperatura y humedad como óptimos para su operación, situaciones como la recirculación del aire, localización de zonas o puntos calientes y sobrecalentamientos parciales del rack pueden causar condiciones desfavorables para algunos dispositivos en específico.

El monitoreo realizado de manera continua permite mantener un consumo eficiente de la energía dentro de un Centro de Datos, además colabora en el control adecuado del calor y proporciona un aumento en la vida útil del equipo informático. El conocimiento de las condiciones de temperatura y humedad puede significar una ventaja competitiva para los CD otorgando las condiciones adecuadas para la ejecución de fuertes cargas de procesamiento informático y el análisis de datos, contribuyendo con el desarrollo de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático.

Con base en lo anterior, existen algunas recomendaciones mencionadas en el trabajo de Anastasiia Grishina (2022) que permiten optimizar el consumo energético de los Centros de

Datos, basándose en un mejor conocimiento de las condiciones de temperatura y humedad. Algunas de las sugerencias son: A) Mejorar la eficiencia del sistema de refrigeración mediante la localización y monitoreo de los puntos de calor en el Centro de Datos. B) Optimizar el aire que se inyecta a los racks de manera más uniforme. C) Distribuir la carga de procesamiento en los servidores de manera uniforme y D) Permitir una mayor cantidad de tiempo para su enfriamiento, siendo esta última aplicable para servidores que presentan una sobrecarga de trabajo.

Es importante resaltar la necesidad de tener en todo momento conocimiento eficaz y eficiente sobre las variables de temperatura y humedad en diferentes puntos dentro de un Centro de datos y no solo de manera general de la habitación; ya que la existencia de altas temperaturas, según K.H. Cheong presentar condiciones de temperatura y humedad en los límites óptimos para el funcionamiento de los equipos de cómputo pueden causar una disminución considerable en el rendimiento de un servidor, derivado del estrangulamiento térmico, de igual manera las altas temperaturas fomentan el aumento del consumo energético con una mayor carga de trabajo para los sistemas de ventilación. La suma de estos factores influye de manera directa en el tiempo de vida útil esperado para cada uno de los equipos concentrados en los Centros de Datos, la cual puede ser reducida en un 50% por cada 10° Celsius (K. H. Cheong, 2019).

Derivado de su crecimiento exponencial en los últimos años, el IoT se considera como una ventana de oportunidad para contribuir a la unión de las áreas de IT (Information Technology, Tecnologías de la información) y OT (Operation Technology, Tecnologías de la operación) a nivel industrial. Los beneficios originados de esta convergencia permiten el desarrollo de sistemas que realizan un monitoreo y control de los activos y procesos actuales.

La implementación de una estructura de red innovadora como el uso de la computación en la nube o de borde, distribuye e incrementa la capacidad operativa de las aplicaciones industriales mediante el almacenamiento de datos, así como de la creación de capas jerárquicas en la estructura de red y la protección de datos sensibles (Patera, Garbugli, Bujari, Scotece, & Corradi, 2022).

Una de las bondades al implementar proyectos de IoT es desarrollar dispositivos de bajo costo en comparación con las soluciones encontradas en el mundo comercial actual. La solución planteada en el trabajo “Development of an Internet of Things solution to monitor and analyse indoor air quality” enfocada al monitoreo de la calidad del aire dentro de una habitación, utiliza una arquitectura de red de cómputo de borde para el almacenamiento de datos, además

implementa un panel de administración web para la visualización de los datos recopilados por el sensor.

El monitoreo de la calidad del aire en interiores, menciona el autor, puede ser benéfico para un mejor control del mismo y con ello beneficiar a personas que padezcan enfermedades respiratorias (Dylan Wall, 2021).

En el artículo “A Novel Methodology to Improve Cooling Efficiency at Data Centers” se realiza una implementación IoT a través de una simulación mediante la herramienta 6SigmaRoom CFD Software, con la cual se realiza un análisis del flujo de aire caliente detectando zonas calientes y puntos de contaminación de aire frío y caliente.

Posteriormente se despliegan dispositivos sensores en ubicaciones específicas determinadas por el software, en donde se recolectan las variables de temperatura y humedad. En conjunto, se establece un dispositivo actuador que permite el control de las rejillas del sistema de enfriamiento de acuerdo a los índices de temperatura y humedad presentados en el interior del Centro de Datos. Los datos recolectados son enviados mediante el servicio PAHO MQTT a un panel de administración realizado en la plataforma de desarrollo Node - Red (K. H. Cheong, 2019).

En lo propuesto por A. Medina Santiago en el trabajo “Adaptive Model IoT for Monitoring in Data Centers” se detalla un prototipo que realiza la integración de un dispositivo IoT para el monitoreo de temperatura y humedad dentro de un Centro de Datos. La integración del dispositivo sensor es cableada (utilizando una tarjeta shield para la conexión por cable ethernet) adicionalmente es utilizada una placa Arduino Uno y un módulo desarrollo ESP8286, realizando pruebas comparativas de rendimiento con los sensores LM35, DHT11, DHT22 y un termómetro profesional infrarrojo. Se realiza la adquisición de los datos para su presentación mediante una página web y una aplicación móvil demostrativa (A. Medina-Santiago, 2020).

Actualmente existen soluciones comerciales con capacidades cercanas a las que se presentan en este trabajo de las cuales se realiza una comparación de las características más relevantes presentadas a continuación en la Tabla 3.

Nombre	Capacidades	Estructura de red	Escalamiento	Costo
Cuby smart	<ul style="list-style-type: none"> •Detección de temperatura y humedad relativa. •Control de mini split mediante luz infrarroja. •Alertas y notificaciones mediante app propietaria. 	<ul style="list-style-type: none"> •Almacenamiento de datos en servidor en la nube. •El dispositivo es capaz de conectarse mediante bluetooth y Wi-Fi. •LED infrarrojo para control de minisplit. 	<ul style="list-style-type: none"> •La plataforma permite el control de diferentes dispositivos de aire acondicionado. 	\$1,595 pesos mexicanos.
Etherpower (Sun-2244)	<ul style="list-style-type: none"> •Pensado para monitorear temperatura, humedad y otras condiciones de seguridad física en un data center o racks. •Tambien es utilizado en tableros eléctricos, cadena de frio y sala de máquinas. 	<ul style="list-style-type: none"> •La conexión del dispositivo se realiza por cable de red, mediante el protocolo SNMP. •Los sensores y actuadores se conectan mediante cable. 	<ul style="list-style-type: none"> •El dispositivo permite su monitoreo mediante protocolo SNMP. 	Sin definir.
Avtech Room Alert	<ul style="list-style-type: none"> •Solución para el monitoreo de temperatura, humedad, agua y humo. •Requiere de conexión cableada en el interior del rack utilizando PoE (Power Over Ethernet). 	<ul style="list-style-type: none"> •El esquema de operación es mediante red cableada desde los sensores hasta el dispositivo principal. 	<ul style="list-style-type: none"> •Permite la ampliación hasta un máximo de 14 sensores y 4 accesorios adicionales. 	Precio de \$2,898 USD por: <ul style="list-style-type: none"> •1 dispositivo Room Alert 32s. •14 Sensores. •4 Accesorios.
Trip Lite E2MTHDI	<ul style="list-style-type: none"> •Sensor de temperatura y humedad para su adecuación con equipos 	<ul style="list-style-type: none"> •El dispositivo utiliza un puerto USB para su conexión con la tarjeta Tripp Lite WEBCARDLX y posterior 	<ul style="list-style-type: none"> •Requiere de un dispositivo UPS o PDU Tripp Lite para su operación 	<ul style="list-style-type: none"> •El precio de la tarjeta WEBCARDLX es de \$7,000 pesos mexicanos.

	PDU Tripp Lite.	adecuación con los dispositivos UPS o PDU		<ul style="list-style-type: none"> •El sensor E2MTHDI tiene un precio de \$3,200 pesos mexicanos.
IoTMonitor TH-Sense Technologies (proyecto presentado en este documento)	<ul style="list-style-type: none"> •Sensor de temperatura y humedad inalámbrico. •Monitoreo desde sitio web. •Notificaciones por cada sensor mediante Telegram y correo electrónico. •Chat bot para realizar consultas. •Análisis de correlación entre los sensores internos y externos. 	<ul style="list-style-type: none"> •Contempla una red de sensores distribuidos a lo largo del CD y en la parte exterior. •Los sensores requieren conectividad a la red de internet para enviar los datos al servidor principal. 	<ul style="list-style-type: none"> •La cantidad de sensores no es limitativa, entre mayor cantidad de sensores se encuentren en el CD, se podrá obtener un mejor análisis del mismo. 	<ul style="list-style-type: none"> •El costo aproximado por cada sensor es de \$950 pesos MXN. •El servicio puede considerarse bajo un esquema de arrendamiento mensual por uso de la plataforma.

Tabla 3. Tabla comparativa de las soluciones comerciales similares identificadas.

De acuerdo a lo que se muestra en la Tabla 3, es posible destacar los siguientes puntos a favor del proyecto propuesto en este documento:

- **Plataforma web y dashboard propietarios para la presentación de la información.**

La solución propuesta por Cuby smart cuenta con una app propietaria, por otro lado, las demás alternativas presentadas requieren de una aplicación de monitoreo en red, compatible con el protocolo de comunicación SNMP (Simple Network Management Protocol). Esto implica la instalación de software y hardware adicional para su implementación.

A diferencia, en el proyecto propuesto en este documento se desarrolla una plataforma web y dashboard que permiten su consulta a través de cualquier dispositivo conectado a Internet, otorgando monitoreo en tiempo real, registro de datos de las últimas 24 horas, histórico individual de todos los sensores, análisis de datos y gestión de notificaciones de alarma.

- **Registro de la información recolectada en base de datos propietaria.** Si bien la solución Cuby smart arroja reportes básicos (promedios de temperatura y humedad), en este trabajo se propone la implementación de una base de datos dedicada en la que se mantiene un control de acceso por usuarios y contraseñas.
- **Análisis de datos (Correlación de las temperaturas del interior y exterior al Centro de Datos).** La plataforma web integrada en este proyecto es capaz de realizar un análisis estadístico de los datos a profundidad, derivando en resultados que permiten identificar la presencia de anomalías (variación de la temperatura dentro del CD) y con ello brindar al usuario una herramienta para una correcta toma de decisiones.
- **Escalamiento.** A diferencia de las soluciones similares identificadas, la conectividad de los sensores en este proyecto se realiza de manera inalámbrica, aprovechando la tecnología Wi-Fi como medio de transporte y salida hacia la red de Internet. Derivado de esto, es posible colocar los sensores en diferentes puntos espaciales dentro y fuera del Centro de Datos. Por consiguiente, se obtendrá un mejor conocimiento de las variables de temperatura y humedad del Centro de Datos.
- **Costo.** En comparación con las soluciones presentadas en la Tabla 3, se considera un bajo costo de producción e implementación, colocando este prototipo como una gran alternativa en el mercado.

Capítulo 4 Diseño y desarrollo del dispositivo sensor y estructura de la solución.

En este capítulo se desglosan las diferentes herramientas utilizadas para la aplicación del proyecto propuesto en este documento. Iniciando con la selección del dispositivo sensor, conociendo sus características y el diseño propuesto para su correcta implementación física.

Se detalla la implementación del medio de comunicación del dispositivo sensor y los pasos a necesarios para lograr la inserción de la información a la base de datos para su posterior análisis.

4.1 Diseño y configuración del dispositivo sensor.

El diseño de conexión propuesto para la implementación del dispositivo sensor es el que se muestra en la Figura 10:

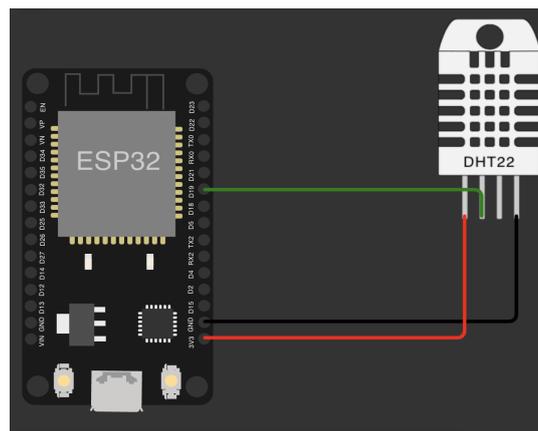


Figura 10. Esquema de diseño de conexión del dispositivo sensor realizado en el simulador de sistemas embebidos online Wokwi.

Como se mencionó en el capítulo anterior el sensor está conformado de un módulo de desarrollo ESP-32 WROOM-32 que se encarga de realizar la recolección de muestras en un intervalo de 30 segundos por dato y que cuenta con un sensor de temperatura y humedad DHT22. Como se muestra en la imagen anterior, la conexión del sensor de temperatura DHT22 es directa, de esta manera es posible aprovechar la librería “DHT.h” compatible con el módulo ESP32.

De acuerdo con la hoja técnica del módulo ESP-32 WROOM proporcionada por el fabricante se resalta la conectividad mediante el protocolo 802.11 b/g/n el dispositivo proporciona una

velocidad de transferencia de datos hasta 150Mbps, con la cual se realizará la conexión a Internet del sensor propuesto (Datasheet, 2022).

El dispositivo sensor DHT22 como se redacta en el capítulo anterior, cuenta con características destacables por las que es considerado en la implementación de este proyecto. Permite su conexión sin la necesidad de colocar componentes adicionales, otorga la medición de las variables de temperatura y humedad al mismo tiempo mediante una señal digital calibrada (Digital, 2022).

Cabe resaltar la precisión con la que es posible realizar la medición de temperatura de 0.5° Celsius y una variación de +-2% de humedad relativa, esto lo coloca como uno de los sensores más exactos en comparación con otros sensores disponibles en el mercado.

A continuación en la Figura 11, se presenta la primera adecuación física del sensor DHT22 y el módulo de desarrollo ESP-32 misma que formó parte del grupo de sensores utilizados para las primeras implementaciones y mediciones de entorno real, mismas que serán presentadas en capítulo 4.

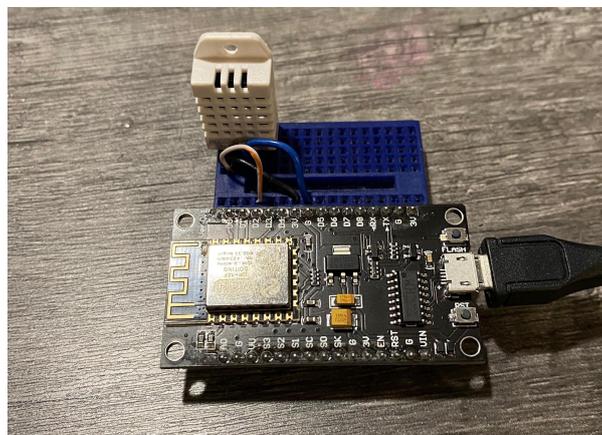


Figura 11. Arreglo físico inicial del sensor de temperatura DHT22 y el módulo de desarrollo ESP-32.

4.2 Diseño de la carcasa en 3D.

Posterior a realizar el arreglo físico inicial del dispositivo IoT propuesto en este proyecto se consideró realizar el diseño de un modelo 3D para la carcasa exterior del dispositivo. Esta tiene la finalidad de otorgar protección a los componentes mencionados en el subcapítulo anterior. Como se mencionó en el capítulo 1, Tinkercad es la herramienta seleccionada para realizar el proceso de diseño y modelado 3D.

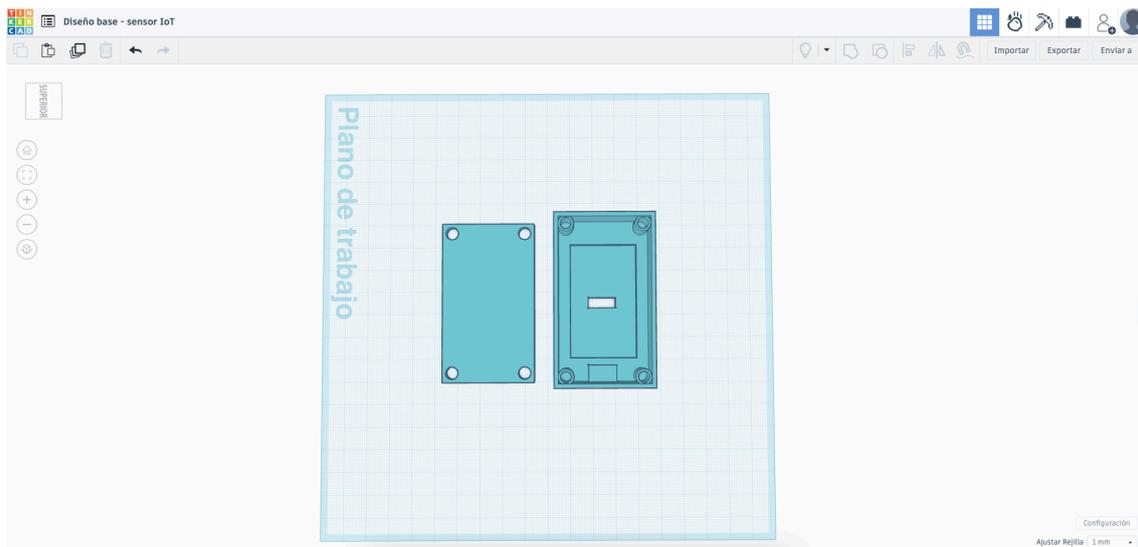


Figura 12. Modelo 3D de la carcasa del dispositivo sensor.

Para la elaboración del primer modelo 3D se consideró la implementación de un área acondicionada para la colocación interna de los componentes (sensor DHT22 y módulo de desarrollo ESP-32 Wroom). Se realizaron las mediciones pertinentes considerando un espacio abierto necesario para una correcta sensibilidad del sensor DHT22.

Adicionalmente se consideró una pestaña superior para brindar soporte al módulo de desarrollo ESP-32 Wroom, en la que de igual manera cuenta con un espacio abierto para realizar la conexión de alimentación y acceso a los botones de configuración. Como se muestra en la Figura 13 y en la Figura 14.



Figura 13. Modelo impreso en 3D de la carcasa del dispositivo sensor



Figura 14. Modelo impreso en 3D de la carcasa del dispositivo sensor (Interior).

4.3 Comunicación mediante protocolo MQTT.

Una vez realizada la integración física del primer sensor se procedió con la configuración de la máquina virtual Linux localizada en Microsoft Azure. A continuación, en la Figura 15 se muestran algunas de las características de la máquina virtual configurada en la plataforma Microsoft Azure.

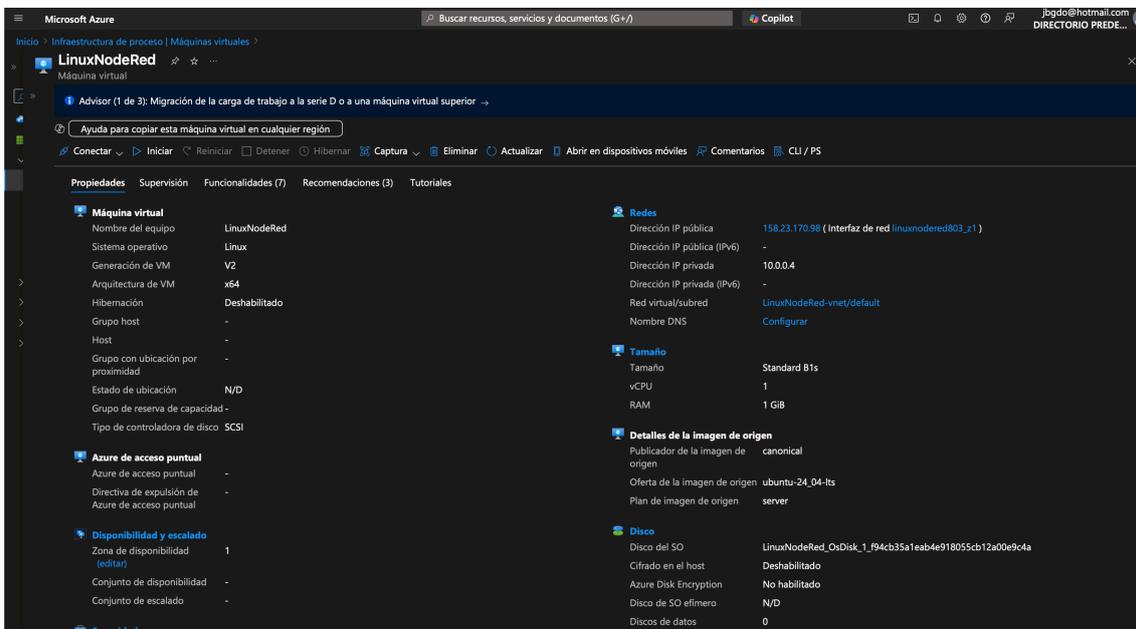


Figura 15. Propiedades de la máquina virtual implementada en la plataforma Microsoft Azure.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la comunicación mediante el protocolo MQTT se realiza mediante el servicio de Eclipse Mosquitto. Dicho servicio se configuró dentro del servidor Linux, mismo que se encuentra alojado en el servicio de Microsoft Azure. Para la configuración del broker MQTT se utilizaron los comandos de instalación otorgados en la documentación correspondiente, mismos que se detallan en la Figura 16.

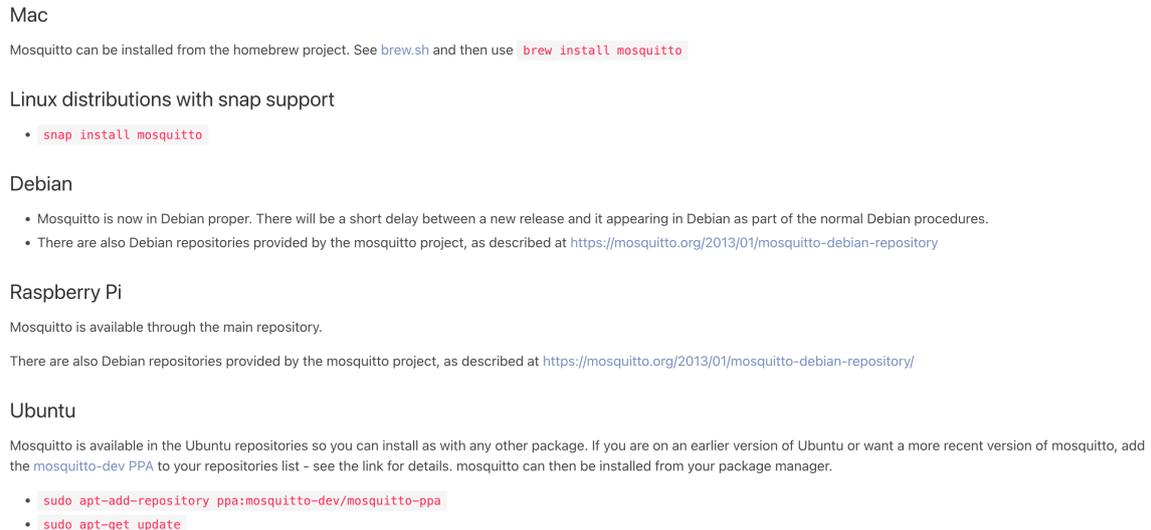


Figura 16. Comandos para la instalación de Eclipse Mosquitto (AISBL, 2025).

Posterior a realizar la configuración correspondiente se verificó el estatus del servicio en el servidor Linux, como se aprecia en la Figura 17.

```
● mosquitto.service - Mosquitto MQTT Broker
  Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/mosquitto.service; enabled; preset: enabled)
  Active: active (running) since Mon 2025-04-14 20:41:15 UTC; 1 day 5h ago
  Docs: man:mosquitto.conf(5)
        man:mosquitto(8)
  Process: 743 ExecStartPre=/bin/mkdir -m 740 -p /var/log/mosquitto (code=exited, status=0/SUCCESS)
  Process: 772 ExecStartPre=/bin/chown mosquitto:mosquitto /var/log/mosquitto (code=exited, status=0/SUCCESS)
  Process: 779 ExecStartPre=/bin/mkdir -m 740 -p /run/mosquitto (code=exited, status=0/SUCCESS)
  Process: 829 ExecStartPre=/bin/chown mosquitto:mosquitto /run/mosquitto (code=exited, status=0/SUCCESS)
  Main PID: 869 (mosquitto)
  Tasks: 1 (limit: 989)
  Memory: 3.0M (peak: 3.5M)
  CPU: 43.729s
  CGroup: /system.slice/mosquitto.service
          └─869 /usr/sbin/mosquitto -c /etc/mosquitto/mosquitto.conf
```

Figura 17. Estatus del servicio Mosquitto MQTT en el servidor Linux.

Posteriormente, se desarrolló el código de programación necesario para la comunicación del microcontrolador y la plataforma web. El módulo de desarrollo ESP-32 permite su programación mediante el IDE de Arduino, utilizando el lenguaje de programación C y C++, con lo cual se desarrolló el código base del dispositivo sensor, con instrucciones para la

publicación de la información mediante el protocolo MQTT para su posterior inserción a base de datos.

De acuerdo al código presentado a continuación, se realizó la configuración del protocolo de comunicación MQTT para el módulo de desarrollo ESP-32.

```
void loop() {
  client.setServer(mqtt_broker, mqtt_port);
  while (!client.connected()) {
    String client_id = "ESP32-client";
    client_id += String(WiFi.macAddress());
    if (client.connect(client_id.c_str(), mqtt_username, mqtt_password)) {
      Serial.println("Conectado con el broker MQTT");
    } else {
      Serial.print("Conexión fallida");
      delay(2000);
      Serial.print(client.state());
      ESP.restart();
    }
  }
}
```

Figura 18. Código implementado para la conexión MQTT

Como se aprecia en la Figura 18, se declara la conexión al servidor MQTT utilizando el comando **client.setServer** que utiliza como parámetros el nombre o dirección IP del servidor MQTT y la definición del puerto utilizado para su conexión, de manera correspondiente se describe el valor de las variables **mqtt_broker = "158.23.170.98"** y **mqtt_port = 1883**, siendo este último el puerto UDP utilizado como puerto de transporte de colas de mensajes (MQTT).

Posteriormente, se indicó un ciclo repetitivo While que permite la evaluación de la conexión con el servidor MQTT, considerando las variables **client_id**, **mqtt_username** y **mqtt_password**. La variable **client_id** captura la dirección MAC de la tarjeta de red Wi-Fi del dispositivo ESP-32, como un método para la identificación del dispositivo de origen de la información al utilizar el protocolo MQTT, de la misma manera se define un usuario y contraseña mediante los cuales el módulo ESP-32 accede al canal de comunicación o tópico proporcionado por el broker MQTT para realizar la publicación de los datos de temperatura y humedad.

La conexión con el broker MQTT se evalúa mediante el comando **client.connect**, en caso positivo se mostrará el mensaje "Conectado con el broker MQTT" mediante la salida serial del dispositivo. En caso negativo, se visualizará el mensaje "Conexión fallida" para después ejecutar el comando **ESP.restart()**. Este último comando, permite al dispositivo realizar un

reinicio que permite restaurar los valores iniciales de entradas y salidas, así como el código almacenado.

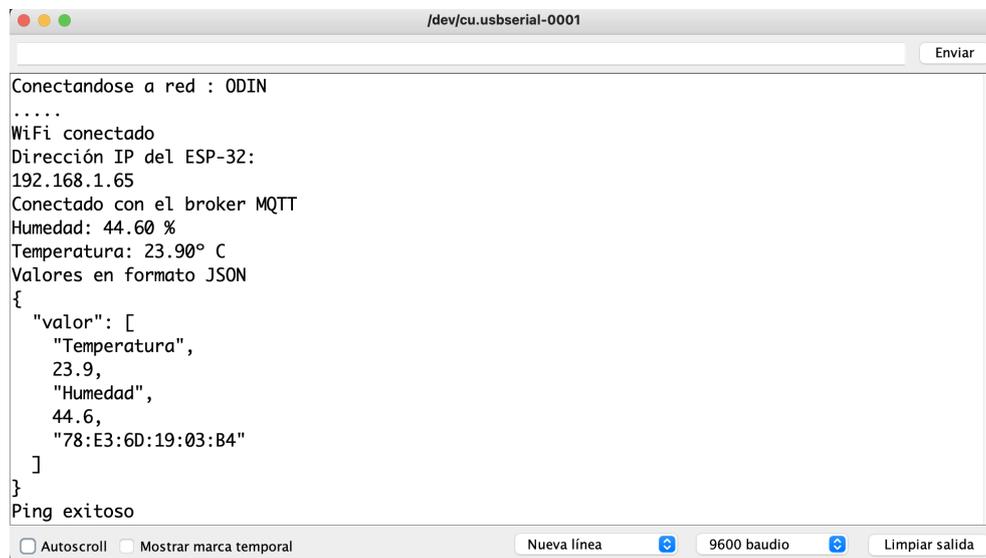
```
float h = dht.readHumidity();
float t = dht.readTemperature();
StaticJsonBuffer<300> JSONbuffer;
JsonObject& JSONencoder = JSONbuffer.createObject();
JsonArray& valor = JSONencoder.createNestedArray("valor");
valor.add("Temperatura");
valor.add(t);
valor.add("Humedad");
valor.add(h);
valor.add(String(WiFi.macAddress()));
Serial.print("Humedad: ");
Serial.print(h);
Serial.println(" %");
Serial.print("Temperatura: ");
Serial.print(t);
Serial.println("° C ");
//JSONencoder.printTo(Serial);
char JSONmessageBuffer[300];
JSONencoder.prettyPrintTo(JSONmessageBuffer, sizeof(JSONmessageBuffer));
Serial.println("Valores en formato JSON");
Serial.println(JSONmessageBuffer);
if(client.state() != 0){
  Serial.print("Cliente MQTT desconectado");
  delay(2000);
  ESP.restart();
  return;
}
client.loop();
client.publish(topic, JSONmessageBuffer);
```

Figura 19. Código para la recolección envío de los datos de temperatura y humedad.

Una vez que se confirme la conexión con el servidor MQTT se proceden a declarar la variables “h” y “t” en donde son almacenadas las muestras de temperatura y humedad recolectadas mediante el sensor DHT22. Es importante recalcar que el sensor de humedad y temperatura DHT22 contiene una librería de comandos compatible con el IDE de arduino, esto permite la recolección de la información mediante el sensor de manera eficaz y eficiente.

Como se denota en la Figura 19, se define un espacio en memoria para el almacenamiento de los datos de temperatura y humedad. Es importante mencionar que como se observa en el código, al array de datos “valor” se agrega la dirección MAC del dispositivo ESP-32 con la finalidad de identificar el origen de los datos. Los registros de temperatura, humedad y dirección MAC son empaquetados en formato JSON (JavaScript Object Notation) lo que

permite organizar los datos en una estructura compatible con la plataforma de desarrollo Node - Red. En la figura a continuación se detalla el ejemplo de ello.



```
Conectandose a red : ODIN
.....
WiFi conectado
Dirección IP del ESP-32:
192.168.1.65
Conectado con el broker MQTT
Humedad: 44.60 %
Temperatura: 23.90° C
Valores en formato JSON
{
  "valor": [
    "Temperatura",
    23.9,
    "Humedad",
    44.6,
    "78:E3:6D:19:03:B4"
  ]
}
Ping exitoso
```

Figura 20. Ejemplo de la salida serial del dispositivo ESP-32.

Anterior al envío de los datos, se realiza la validación de la conexión al servidor MQTT, en caso de que el dispositivo no se encuentre conectado se invocará la función **ESP.restart()** para su reinicio. Como paso siguiente, se llama a la función **client.loop()**, la cual permite mantener la comunicación con el servidor MQTT mientras se realiza la publicación de la información a través de la función **client.publish(topic, JSONmessageBuffer)**, en donde la variable **“topic”** corresponde al tema o tópico, el cual establece el canal de comunicación por el que se publica la información. Por otro lado, la variable **JSONmessageBuffer**, corresponde a la información de temperatura, humedad y dirección MAC en formato JSON. Es importante, resaltar que los canales de comunicación o **“topic”** cambian por dispositivo sensor, esto con la finalidad de que cada sensor cuente con un canal dedicado de comunicación y sea escuchado por el suscriptor, que en el caso particular de este proyecto es el servidor que contiene la aplicación Node - Red.

```
bool success = Ping.ping("www.google.com", 3);
if(!success){
    Serial.println("Falló ping");
    delay(2000);
    ESP.restart();
    return;
}
Serial.println("Ping exitoso");
Serial.println("EL ESP iniciar a dormir...");
esp_deep_sleep_start();
```

Figura 21. Código para la evaluación de conexión a internet mediante un Ping a los servidores de Google y declaración del tiempo de reposo del sensor.

Como se observa en la Figura 21, como último paso se realiza la validación de la conexión a internet y la comunicación con los servidores de Google, ejecutando un Ping, esto se realiza como una alternativa para garantizar la correcta transmisión de la información hacia internet. La respuesta del Ping se evalúa, en caso fallido se invoca la función **ESP.restart()**, para reiniciar el módulo ESP-32.

Posterior a ello, se ejecuta la función **esp_deep_sleep_start()**, con ella se declara el inicio del tiempo de reposo del módulo ESP-32 que consta de 30 segundos. Este paso tiene como objetivo el optimizar el consumo de energía del sensor cuando el módulo se encuentra en modo reposo, desactivando componentes como el Wi-Fi y Bluetooth, consiguiendo reducir el consumo energético menor a 10 μ A, de acuerdo la ficha técnica correspondiente.

4.4 Configuración de la herramienta Node – Red y conexión al servidor de base de datos.

De acuerdo con lo mencionado en el capítulo anterior, se consideró a la plataforma Node – Red como núcleo y base central para el control de la información recopilada en este proyecto. A través de esta herramienta es posible realizar la recepción de la temperatura y humedad por medio del protocolo de comunicación MQTT para su posterior inserción a la base de datos MySQL correspondiente. Además, es utilizado para la configuración de las herramientas de alerta, chat Bot (Telegram) y análisis de datos.

Los pasos a seguir para la configuración de la plataforma Node – Red son proporcionados en su página web oficial, para lo cual existe un apartado específico para su implementación en máquinas virtuales desarrolladas en Microsoft Azure como se muestra en la figura siguiente.

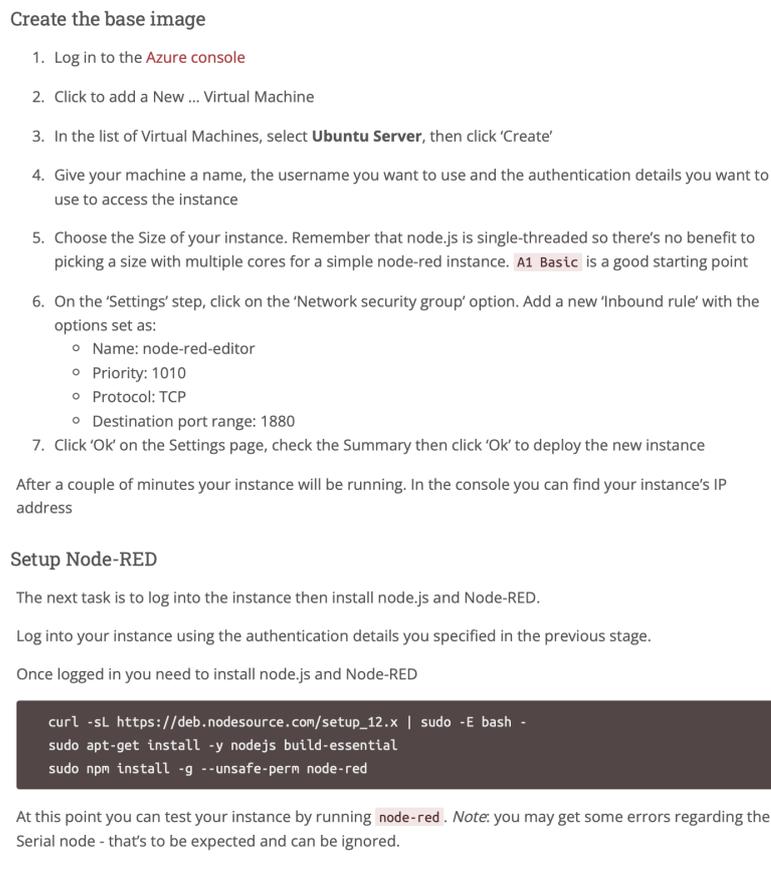


Figura 22. Comandos de instalación para Node - Red en una maquina virtual almacenada en servicios de Microsoft Azure.

El almacenamiento en base de datos se realiza mediante la recolección de los mensajes MQTT enviados por los sensores en el Centro de datos. Los nodos de recolección de mensajes MQTT se encuentran configurados con un nivel de calidad de servicio 1, la cual garantiza la entrega del mensaje al menos una vez al receptor, que en este caso es la plataforma Node – Red. Una vez recuperados todos los datos, se implementa un nodo de función para la recepción de la información y preparación mediante la estructura jquery necesaria para realizar la inserción a la base de datos. A continuación en la Figura 23, se muestra la estructura de nodos necesaria para el almacenamiento de los datos en el servidor MySQL.

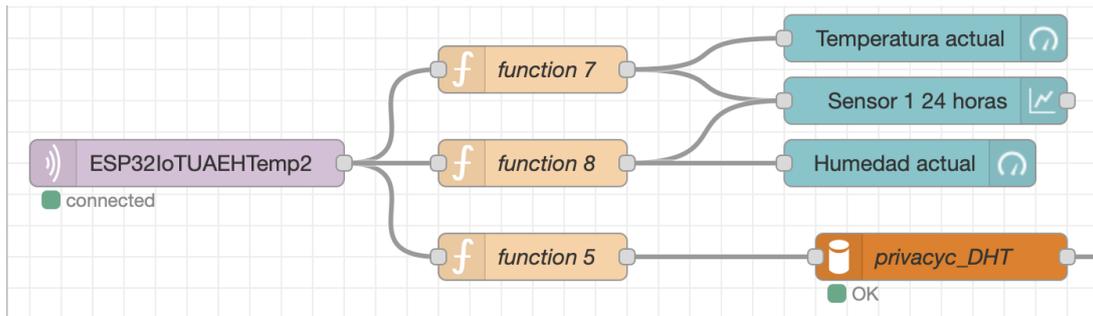


Figura 23. Conexión de bloques para el almacenamiento en base de datos realizado en la plataforma Node - Red.

De acuerdo a lo que se muestra en la figura anterior, después de realizar la recolección del mensaje a través del protocolo MQTT se extraen del objeto “valor” los datos de temperatura, humedad y dirección MAC para ser agregados en la consulta realizada al servidor MySQL. En la Figura 24, se detalla el código referenciado en este párrafo.

```

1 var msg1 = msg.payload.valor[0];
2 var temperatura = msg.payload.valor[1];
3 var msg2 = msg.payload.valor[2];
4 var humedad = msg.payload.valor[3];
5 var macaddress = msg.payload.valor[4];
6 msg.topic = "INSERT INTO sensor2(registro,temperatura,humedad,MAC) VALUES (CURRENT_TIMESTAMP,
7 return msg;

```

Figura 24. Código dentro del nodo de función para insertar los valores de temperatura y humedad en el servidor MySQL.

La consulta hacia el servidor MySQL se compone de lo siguiente: **“msg.topic = "INSERT INTO sensor2(registro,temperatura,humedad,MAC) VALUES (CURRENT_TIMESTAMP, "" + temperatura + "", "" + humedad + "", "" + macaddress + "");”**. Además de enviar las variables de temperatura y humedad es utilizado el comando **“CURRENT_TIMESTAMP”** el cual solicita al servidor MySQL insertar una marca de tiempo indicando el día, mes, año y hora específica de la inserción a la base de datos.

La base de datos denominada “privacy_DHT” se encuentra alojada en el servicio proporcionado por la empresa Hospedando.mx. A continuación, se muestra una imagen recuperada del panel administrador de base de datos PHPmyAdmin.

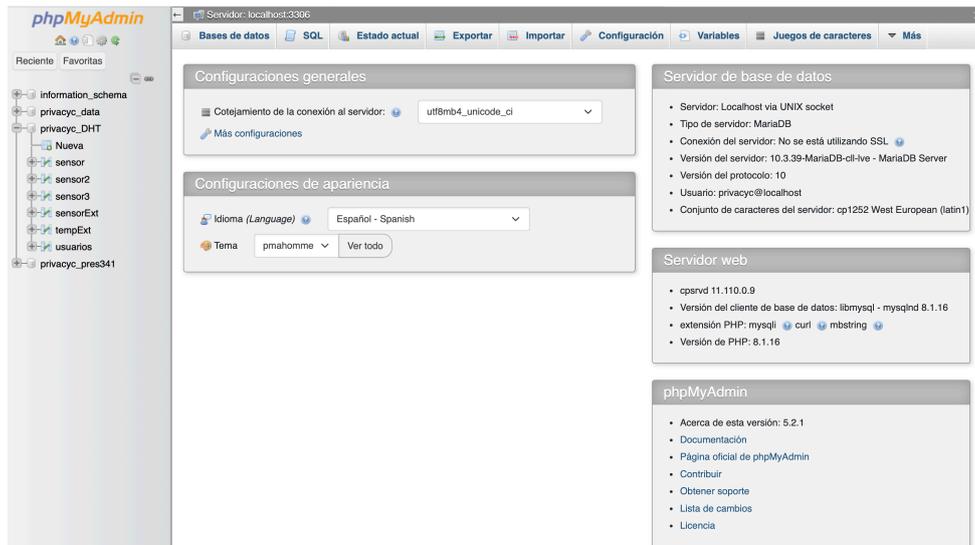


Figura 25. Captura de pantalla de la base de datos MySQL implementada a través del servicio de Hospedando.mx

En la siguiente Figura 26 se muestran las tablas que conforman la estructura de la base de datos privacy_DHT.

Tabla	Acción	Filas	Tipo	Cotejamiento	Tamaño	Residuo a depurar
<input type="checkbox"/> sensor	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	16,127	InnoDB	latin1_spanish_ci	1.5 MB	-
<input type="checkbox"/> sensor2	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	5,564	InnoDB	latin1_spanish_ci	320.0 KB	-
<input type="checkbox"/> sensor3	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	19,072	InnoDB	latin1_spanish_ci	1.5 MB	-
<input type="checkbox"/> sensorExt	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	5,580	InnoDB	latin1_spanish_ci	352.0 KB	-
<input type="checkbox"/> tempExt	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	~148,512	InnoDB	latin1_spanish_ci	6.5 MB	-
<input type="checkbox"/> usuarios	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	2	InnoDB	latin1_spanish_ci	16.0 KB	-
6 tablas	Número de filas	~194,857	MyISAM	latin1_spanish_ci	10.2 MB	0 B

Seleccionar todo

Figura 26. Estructura de la base de datos privacy_DHT

De la misma forma se muestra la estructura de las tablas que conforman la base de datos, es importante mencionar que cada sensor cuenta con una tabla asignada con el objetivo de mantener un control de la información. Asimismo, se determinó una tabla usuarios que contiene los datos de acceso requeridos por la plataforma al momento de acceder a ella.

registro	temperatura	humedad	MAC
2023-06-30 13:39:44	23.10	57.60	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:39:49	23.10	57.60	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:39:54	23.10	57.60	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:39:59	23.10	57.80	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:40:05	23.10	57.80	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:40:11	23.10	57.70	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:40:17	23.10	57.70	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:40:22	23.10	57.60	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:40:28	23.10	57.60	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:40:33	23.10	57.60	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:40:38	23.10	57.60	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:40:43	23.10	57.60	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:40:48	23.10	57.60	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:40:54	23.10	57.70	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:40:58	23.10	57.70	58:BF:25:33:20:20
2023-06-30 13:41:04	23.10	57.70	58:BF:25:33:20:20

Figura 27. Estructura de las tablas asignadas para cada sensor.

Capítulo 5 Desarrollo e implementación del dashboard.

En este capítulo se describen los procesos realizados para la generación de la interfaz visual propuesta en este proyecto. A lo largo del capítulo se detallarán características primordiales de la plataforma como lo son: la aplicación de metodología VROps para el desarrollo de Dashboards, las ventanas visuales que componen la plataforma, sus funciones y su relevancia dentro de toda la interfaz.

Adicionalmente se explicarán las herramientas de alerta implementadas mediante la plataforma Node – Red y su integración con los servicios de mensajería Telegram y correo electrónico.

5.1 Diseño web y desarrollo de dashboard.

Se diseñó el sitio web basándose en conceptos orientados a consolidar una experiencia de usuario agradable para cualquier persona. Para lo anterior se consideraron las etapas del proceso de Design Thinking como una guía dentro del proceso del desarrollo de la plataforma web y dashboard. Como lo menciona Melvin Kevin López Asto (2023), el desarrollo se encuentra centrado en el usuario diseñando un producto que no solo resuelva un problema sino que este genere un impacto positivo para él, siguiendo las cinco etapas: empatizar definir, idear, prototipar y testear.

De esta manera, con el fin de empatizar, definir e idear se realizó un esquema base de la plataforma web mediante un Wireframe, realizado a mano alzada mediante un dispositivo móvil (Ipad) que permitió visualizar una primera idea principal o bosquejo base. A través de ello, se identificaron las diferentes opciones consideradas para el usuario, las interacciones con la plataforma y los problemas de diseño que involucran el desarrollo del dashboard.

Asimismo, fue posible definir los problemas del usuario que se estarían resolviendo mediante la plataforma y delimitar los alcances del proyecto desde la estructura de red hasta la presentación y análisis de los datos.

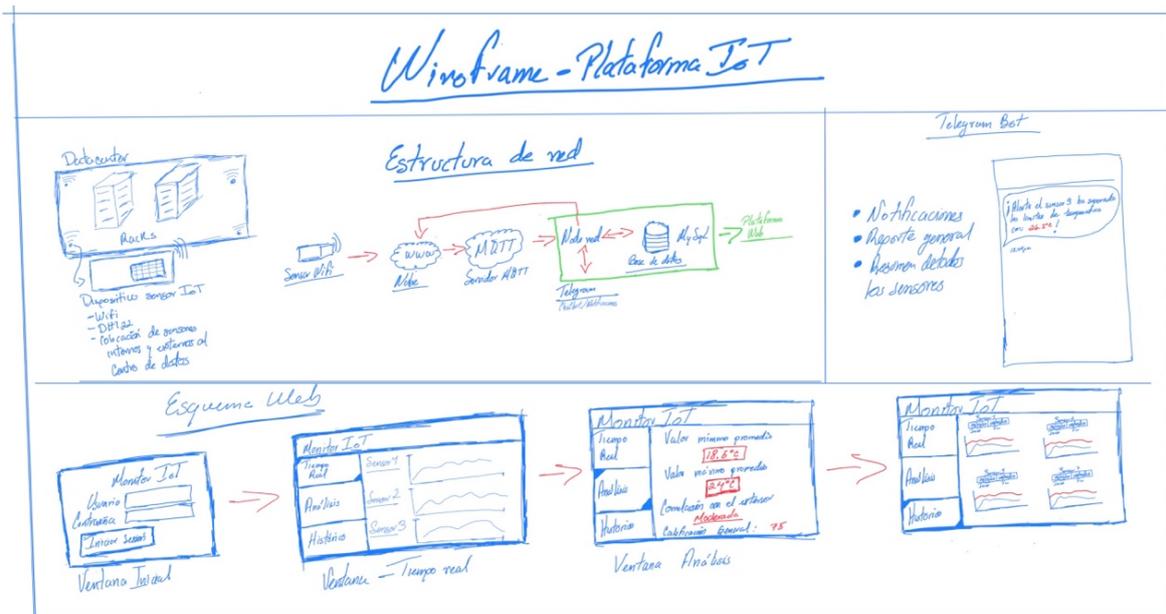


Figura 28. Wireframe, esquema básico a mano alzada del proyecto.

Con base en el esquema anterior es posible determinar los objetivos principales de la plataforma web en lo siguiente:

- Integrar una ventana de acceso (Login) con la finalidad de otorgar un nivel de seguridad a la plataforma.
- Presentar de manera clara y consistente las variables de temperatura y humedad del Centro de Datos en cuestión, mostrando los registros más recientes de todos los sensores (considerándose una representación lo más cercana a tiempo real).
- Presentar de manera clara y consistente los datos de temperatura y humedad recopilados con anterioridad representados de manera gráfica.
- Mostrar una ventana que arroje los resultados de un análisis estadístico de los datos obtenidos a lo largo del tiempo y con ello comprender de mejor manera el funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado y las condiciones ambientales dentro del Centro de Datos.
- Otorgar la configuración de una herramienta de alerta y monitoreo vía Telegram (Chat bot).

Es importante mencionar que los componentes esenciales para la implementación de la plataforma web integran diferentes tecnologías de desarrollo, principalmente HTML, JavaScript, MySQL y CSS.

El dashboard (también conocido como cuadro de comandos o panel de control) permite la consulta y análisis de los datos que pueden estar almacenados en una base de datos o bien, recolectados en tiempo casi real.

Adicionalmente, permite realizar una interpretación adecuada de la información, administración y creación de reportes de los datos y con ello realizar una adecuada toma de decisiones.

De acuerdo a lo mencionado por Yaquelin Córdoba Et al, dentro del desarrollo de un dashboard existen diferentes metodologías disponibles, con distintos enfoques de acuerdo a las necesidades. Destacando los siguientes aspectos “la metodología para el éxito” diseñada por la empresa Noetix en el año 2004, la aplicación de metodologías ágiles implementadas para el diseño de dashboards y la metodología VROps, propuesta por Mark Jusko en el año 2017.

De acuerdo a lo anterior, la metodología VROps proporciona una guía de siete fases de diseño para orientadas a la interacción de los usuarios con metricas de KPI's (Key Performance Indicator o Indicadores Claves de Rendimiento) con la finalidad de otorgar una mejor accesibilidad y entendimiento de la información al usuario final.

La metodología propone las siguientes fases:

- 1. Definir el objetivo del dashboard:** En este punto es importante alinear el diseño del Dashboard al objetivo central del área o negocio objetivo, otorgando un propósito y valor.
- 2. Planificar un flujo de trabajo:** El flujo o secuencia de actividades deberá ser de gran facilidad para los usuarios considerando las métricas y su relación desde el inicio hasta el final del proceso.
- 3. Conocer los datos a presentar en el Dashboard:** Debe existir una investigación previa de las variables y métricas que serán representadas en el dashboard.
- 4. Elección de los widgets:** Deberán seleccionarse adecuadamente los widgets a utilizar, garantizando la interacción y el análisis de los datos de manera adecuada.

5. **Planificación de las interacciones:** En esta fase se deberán planificar las interacciones que tendrán los widgets entre sí, con el objetivo de reducir la probabilidad de presentar la misma información, es decir, evitar redundancia e información confusa para el usuario.
6. **Ejecución de pruebas de manejo:** Se deberán implementar pruebas con el objetivo de verificar que el dashboard resuelva las problemáticas correspondientes.
7. **Refinamiento y mantenimiento:** Se establece una revisión con el objetivo de mantener actualizada la información desplegada por el dashboard (Yaquelin Córdova Viera, 2021).

A partir lo anterior, utilizando las fases descritas por la metodología VROps, es posible realizar el diseño e implementación de un Dashboard como el que se propone en este documento, enfocado a la visualización y análisis de las variables de temperatura y humedad dentro de un Centro de Datos, brindar interacciones amigables y de gran utilidad para el usuario final.

A continuación se describen las fases desarrolladas para la implementación del dashboard en este proyecto.

1) Objetivo del dashboard.

Gracias a la realización del Wireframe o esquema básico mencionado en el subcapítulo anterior, se identificaron las siguientes necesidades para el Dashboard:

1. Presentar de manera clara y consistente las variables de temperatura y humedad del Centro de Datos en cuestión, mostrando los registros más recientes de todos los sensores (considerándose una representación lo más cercana a tiempo real).
2. Presentar de manera clara y consistente los datos de temperatura y humedad recopilados con anterioridad de manera gráfica.
3. Mostrar una ventana que arroje los resultados de un análisis estadístico de los datos obtenidos a lo largo del tiempo y con ello comprender de mejor manera el funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado y las condiciones ambientales dentro del Centro de Datos.

2) Flujo de trabajo planificado.

El flujo de trabajo se encuentra orientado a la experiencia de navegación de los usuarios a través del entorno de la plataforma web principalmente accedida desde un equipo de cómputo de escritorio o portátil; sin embargo, la plataforma puede ser consultada desde un dispositivo móvil celular. De manera inicial, el usuario deberá acceder mediante un usuario y contraseña previamente establecidos, como se muestra en la Figura 29.

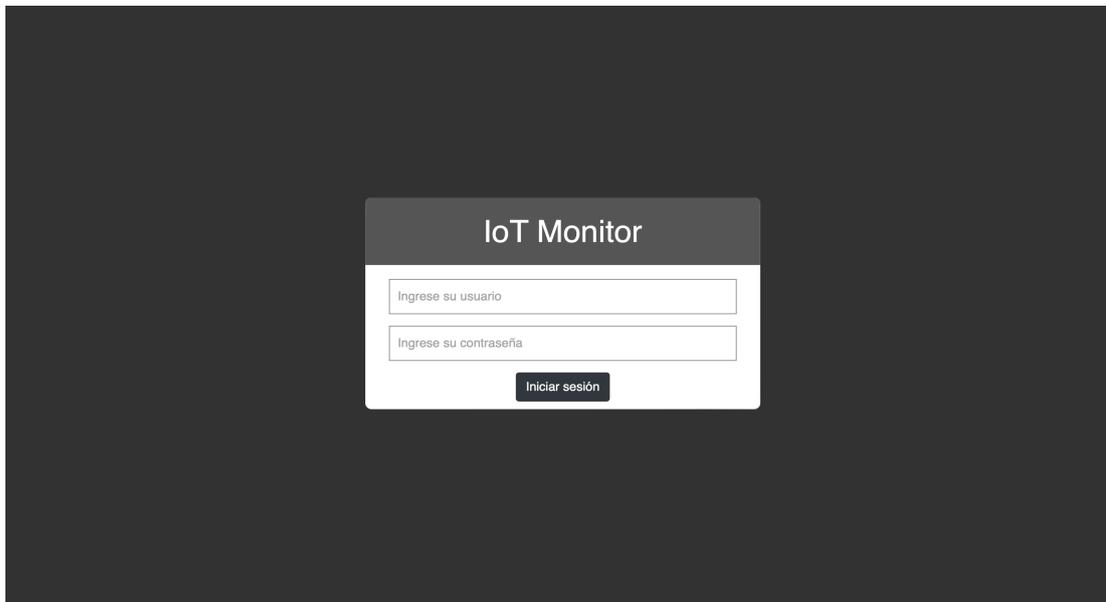


Figura 29. Ventana de acceso de la plataforma web.

Posteriormente, en la Figura 30, el usuario encontrará una ventana de inicio o bienvenida, en donde podrá realizar la selección de las ventanas disponibles: Inicio, Dashboard e Histórico.

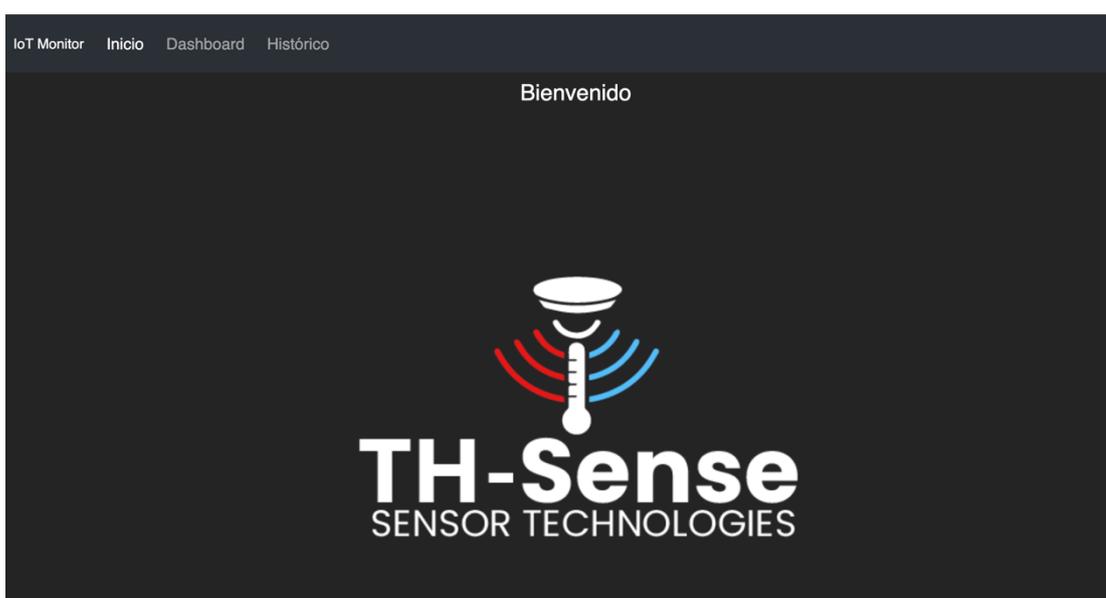


Figura 30. Ventana de inicio de la plataforma web.

La segunda opción disponible corresponde a la ventana de “Dashboard” (Figura 31) en donde son presentadas dos ventanas “Tiempo real” y “Análisis”.

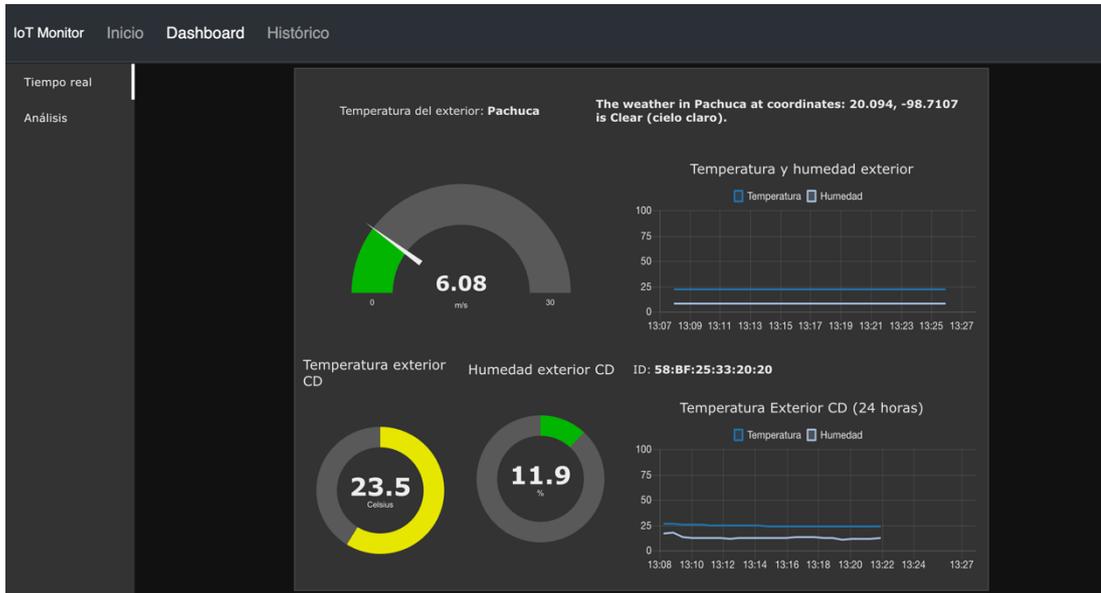


Figura 31. Ventana de dashboard.

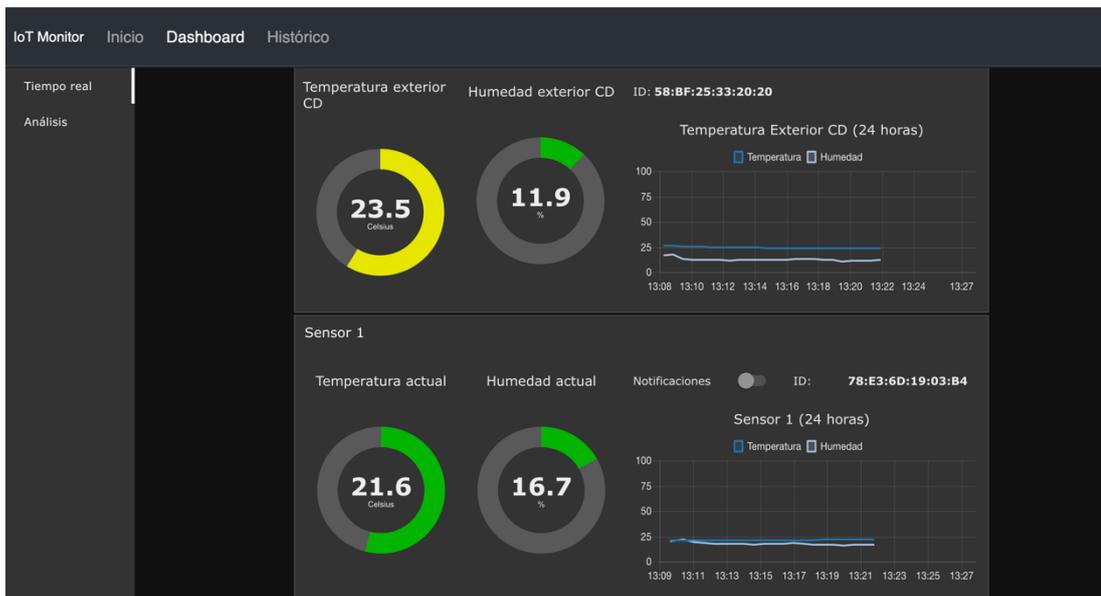


Figura 32. Ventana de dashboard - sensores internos.

En la Figura 31 de manera inicial, se muestran la temperatura y humedad detectadas por la plataforma OpenWeatherMap.org. Esta plataforma permite brindar el servicio en línea para la obtención de los datos meteorológicos de manera global mediante una API (Interfaz de programación de aplicaciones). El registro a la plataforma y el servicio de hasta un máximo de 60 solicitudes por minuto es gratuito. Mediante cada solicitud es

posible obtener los datos de temperatura, humedad, velocidad del viento, pronóstico diario, porcentaje de probabilidad de precipitación, entre otros (OpenWeather, 2023).

Para el fin de la plataforma IoT mencionada en este documento, se obtienen los datos de temperatura, humedad, velocidad del viento y pronóstico diario de las coordenadas geográficas de la ubicación perteneciente al Centro de Datos en estudio. Posteriormente en la Figura 32, se presentan los datos más recientes (últimas 24 horas) de temperatura y humedad en los diferentes sensores localizados en el interior del Centro de datos. Asimismo, los valores correspondientes al sensor considerado para el exterior del C.D.

Es importante destacar la existencia de un botón dedicado para la activación/desactivación de notificaciones y la etiqueta "ID", esta última es la dirección MAC (conocida comúnmente como dirección física) de la tarjeta de conexión Wi-Fi del módulo de desarrollo ESP-32 Wroom, permitiendo identificar de manera única a los sensores distribuidos a lo largo del Centro de Datos. Derivado de que la plataforma utiliza como medio de comunicación un ChatBot dentro de la aplicación de mensajería Telegram o en su defecto, un correo electrónico asignado; el usuario cuenta con la capacidad de interrumpir las notificaciones en caso de considerarlo necesario en condiciones particulares.

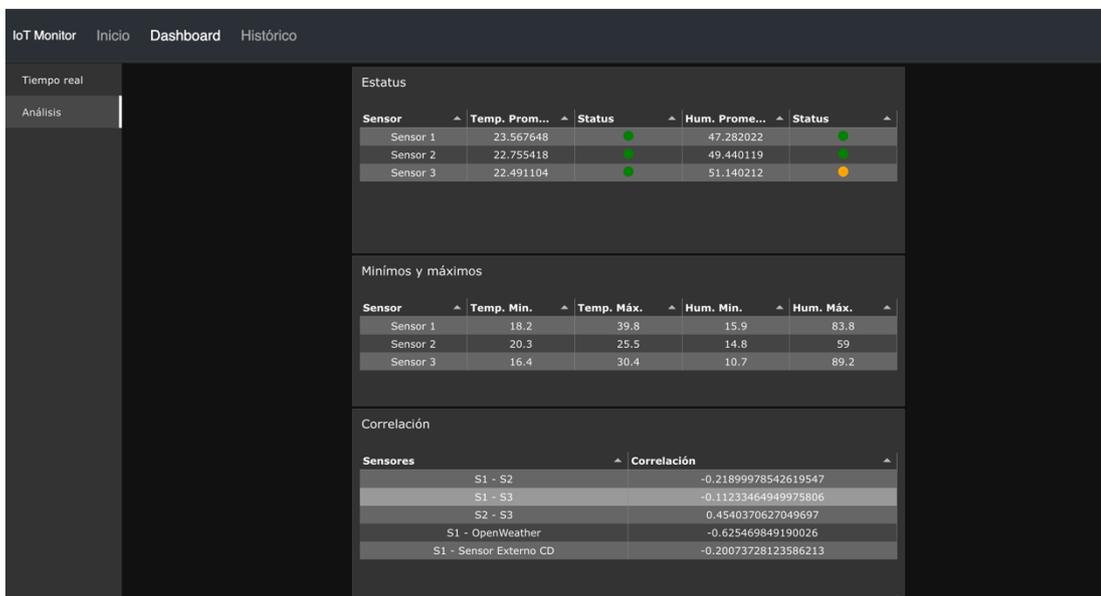


Figura 33. Ventana de análisis.

En la Figura 33 se presenta el inicio de la ventana de análisis. Esta ventana está orientada a la presentación de datos estadísticos relevantes de todos los sensores en el interior y exterior del Centro de datos.

De manera inicial se coloca una tabla con el título “Estatus”, la cual expone los promedios de las variables de temperatura y humedad del respectivo sensor. Adicionalmente, se consideró una columna con el título “Estatus” que evalúa de manera gráfica el resultado del promedio de todas las variables de temperatura y humedad de los sensores.

El indicador de color verde indica un promedio menor a 23° Celsius y un porcentaje de humedad oscilante entre el 25% y 45% (condiciones aceptables de acuerdo a los rangos mencionados anteriormente en el capítulo 1), un indicador de color amarillo representa una temperatura mayor a 23° Celsius y menor a 27° Celsius, de la misma manera para un porcentaje de humedad mayor a 45% y menor a 65% (rangos considerados como de alerta mínima).

Por último, un indicador de color rojo indica una temperatura mayor a 27° Celsius o bien menor a 18° Celsius y una humedad relativa mayor al 65% o en caso contrario, menor al 25% (siendo estos últimos considerados como condiciones de riesgo para los Centros de Datos).

A continuación se dibuja la tabla de “Límites mínimos y máximos por sensor” (Figura 33) en donde se muestran los registros más altos y bajos identificados en cada uno de los sensores.

De manera subsecuente se muestra la tabla de correlación (Figura 33). La correlación lineal de Pearson permite identificar la forma en que dos variables interactúan compartiendo una relación directa o bien, determinar la inexistencia de relación alguna entre ellas (Alanís-Navarro, 2017). Es decir, permitirá comparar e identificar la existencia o inexistencia de una relación entre las variables de temperatura y humedad entre dos sensores (considerando la aplicación en este proyecto).

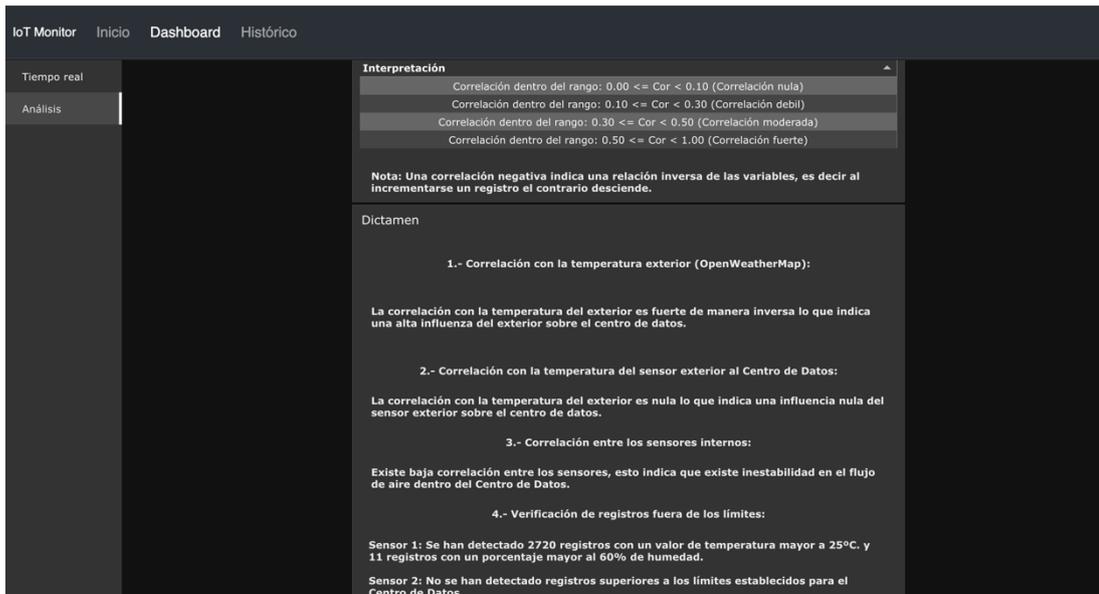


Figura 34. Ventana de análisis – Interpretación de correlación y resumen.

La correlación en caso de presentarse fuerte, permite describir la interacción de las variables entre los diferentes sensores localizados dentro del centro de datos, siendo una alternativa para predecir su comportamiento .

Por lo anterior se redacta en la plataforma a manera de nota lo siguiente (Figura 34):

- Una correlación fuerte o moderada entre los sensores internos indica una correcta distribución del aire frío ya que la temperatura y humedad entre ellos oscila de manera similar.
- Por otro lado, una correlación débil o nula entre los sensores dentro del Centro de Datos indica la existencia de temperatura y humedad variable entre las diferentes zonas del mismo, por lo que se recomienda realizar acciones pertinentes.
- Si la correlación entre los sensores internos y la temperatura del exterior se presenta moderada o fuerte, indicaría influencia directa sobre la temperatura interna del Centro de Datos.

Por último se encuentra la ventana “Histórico” en la cual se presentan las gráficas correspondientes a cada uno de los sensores en el interior y exterior del Centro de Datos, así como los datos recolectados por la aplicación OpenWeather.org.

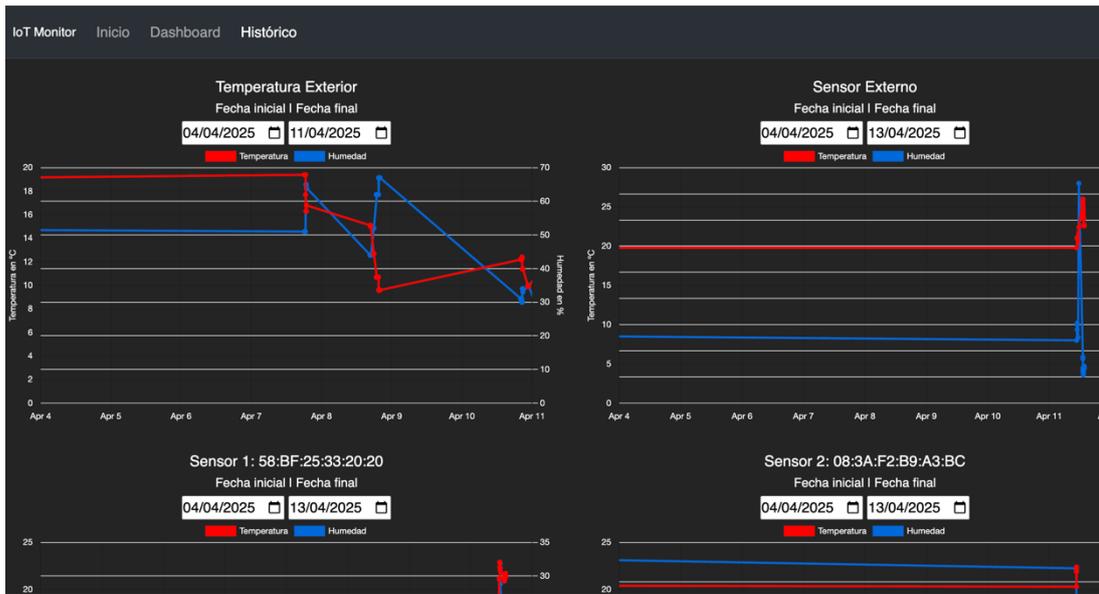


Figura 35. Ventana Histórico – desglose de datos por sensor.

En las gráficas el usuario podrá identificar los datos de temperatura (color rojo) y humedad (color azul) de manera individual a lo largo del tiempo. El gráfico permite seleccionar el rango de tiempo de interés para realizar el análisis correspondiente.

3) Conocer los datos a presentar.

Para el caso particular de este proyecto, las variables más importantes a presentar son la de temperatura y humedad relativa. La temperatura será representada mediante una variable tipo entero utilizando la escala en Celsius. Por otro lado la variable de humedad relativa es expresada a través de una variable tipo entero representandose en porcentaje.

Ambas variables serán representadas de manera gráfica apoyándose de los widgets disponibles por la plataforma Node - Red.

4) Elección de los widgets.

Los widgets considerados para la representación de las variables son algunos de los disponibles dentro de la plataforma de desarrollo Node - Red.

Para el valor recolectado más reciente o bien que representa la muestra en tiempo real, se seleccionó el indicador tipo dona (Figura 36). Este indicador permite mostrar la

variable numérica y al mismo tiempo una barra en forma circular que cambiará de color (verde, amarillo o rojo) dependiendo a un rango previamente establecido.

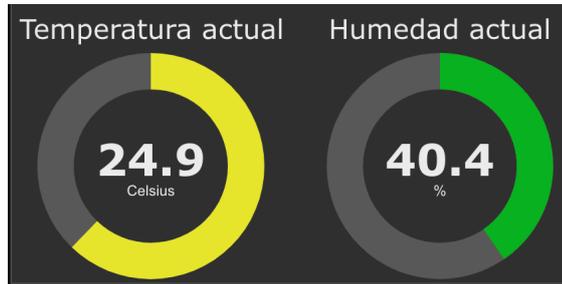


Figura 36. Indicadores circulares seleccionados para la presentación de las variables de temperatura y humedad en tiempo real.

Asimismo, se seleccionó un gráfico lineal (Figura 37) para la representación de los registros de temperatura y humedad de las últimas 24 horas. Esto con la finalidad de representar un breve histórico de cada uno de los sensores colocados dentro del Centro de Datos.

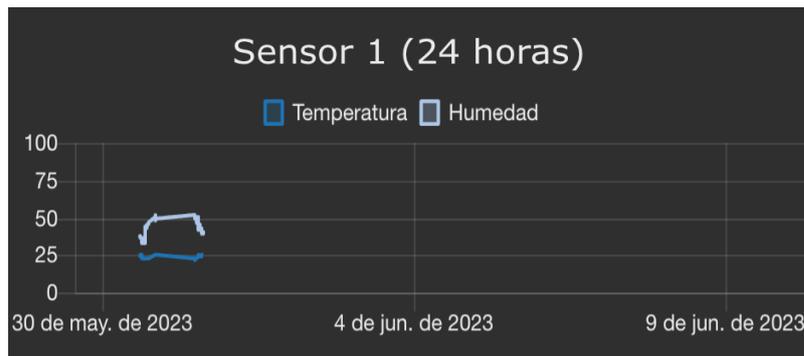


Figura 37. Gráfica lineal seleccionada para la presentación de las variables de temperatura y humedad en las últimas 24 horas.

Estatus					
Sensor	Temp. Pro...	Status	Hum. Pro...	Status	
Sensor 1	23.399675	●	47.503462	●	
Sensor 2	22.713605	●	49.110802	●	
Sensor 3	23.142954	●	50.775079	●	

Figura 38. Tabla seleccionada para la presentación de resultados estadísticos con indicadores (verde, amarillo o rojo) para la interpretación de resultados.

5) Planificar interacciones.

En la ventana “Dashboard” se plantea la presentación de todos los sensores colocados en el interior y exterior del centro de datos enlistados , colocando en la parte izquierda las muestras en tiempo real de la temperatura y humedad relativa y del lado contrario una gráfica lineal con los datos recolectados en las últimas 24 horas.

El usuario podrá navegar entre todos los sensores colocados en el interior y exterior del Centro de Datos, además, podrá visualizar las condiciones meteorológicas obtenidas desde la API de OpenWeatherMap.org en las últimas 24 horas.

Sumando a lo anterior se dispondrá de una ventana de análisis que muestra los resultados estadísticos desarrollados con la plataforma Node - Red y la base de datos en MySQL, la interpretación de los resultados del análisis de correlación de los sensores y un resumen con los detalles de los registros que sobrepasan los valores límites óptimos de temperatura y humedad considerados para un CD.

Por último el usuario tendrá la opción de visualizar de manera histórica todos los registros de temperatura y humedad almacenados en la base de datos de manera individual mediante la ventana “Histórico”. Además, el usuario podrá seleccionar el rango de tiempo que desea analizar con la finalidad de poder estudiar la variabilidad de los datos por hora, día mes y año.

Para las fases 6) Pruebas de manejo y 7) Refinamiento y mantenimiento se desarrolló un banco de pruebas de rendimiento que se detallan en el capítulo 4 otorgando los resultados a través de una prueba sintética con una duración aproximada de un mes. Todo ello otorgó información relevante sobre la eficiencia de la plataforma en relación a la presentación de la información, la veracidad de los datos presentados y su facilidad de entendimiento.

Asimismo, se obtuvieron resultados que ayudaron a comprender las necesidades de refinamiento y mantenimiento necesarios al dashboard, con el objetivo de otorgar una mejor experiencia de usuario.

5.2 Desarrollo de herramientas de alerta.

En la integración de las herramientas de alerta se consideraron las siguientes necesidades:

- Otorgar al usuario una herramienta de alerta mediante un medio de comunicación ágil y eficiente.
- El sistema de alarma podrá ser administrado por el usuario, de manera que las notificaciones no sean incómodas.
- El usuario podrá acceder de manera eficaz a un reporte rápido con el estado actual de los sensores.
- El usuario contará con dos alternativas para la recepción de alertas

Actualmente la aplicación de mensajería instantánea Telegram cuenta con más de 500 millones de usuarios activos de acuerdo a registros de la tienda de aplicaciones App Store propietaria de la marca Apple (Apps Apple, 2023).

Gracias a lo anterior, se consideró la implementación de un ChatBot a través de la aplicación Telegram, herramienta con la que el usuario pueda interactuar recibiendo información de primera mano. Adicionalmente se consideró la entrega de notificaciones mediante correo electrónico como alternativa para el usuario.

La configuración del ChatBot se realizó a través de la plataforma Node - Red mediante los nodos de configuración proporcionados por la librería “node-red-contrib-telegrambot”.

Adicionalmente, es necesario realizar la configuración mediante el gestor de Bots de Telegram, la aplicación permite la creación y gestión de bots utilizando códigos o tokens de seguridad para establecer la comunicación entre una cuenta existente y un Chat bot como se muestra en la siguiente figura.

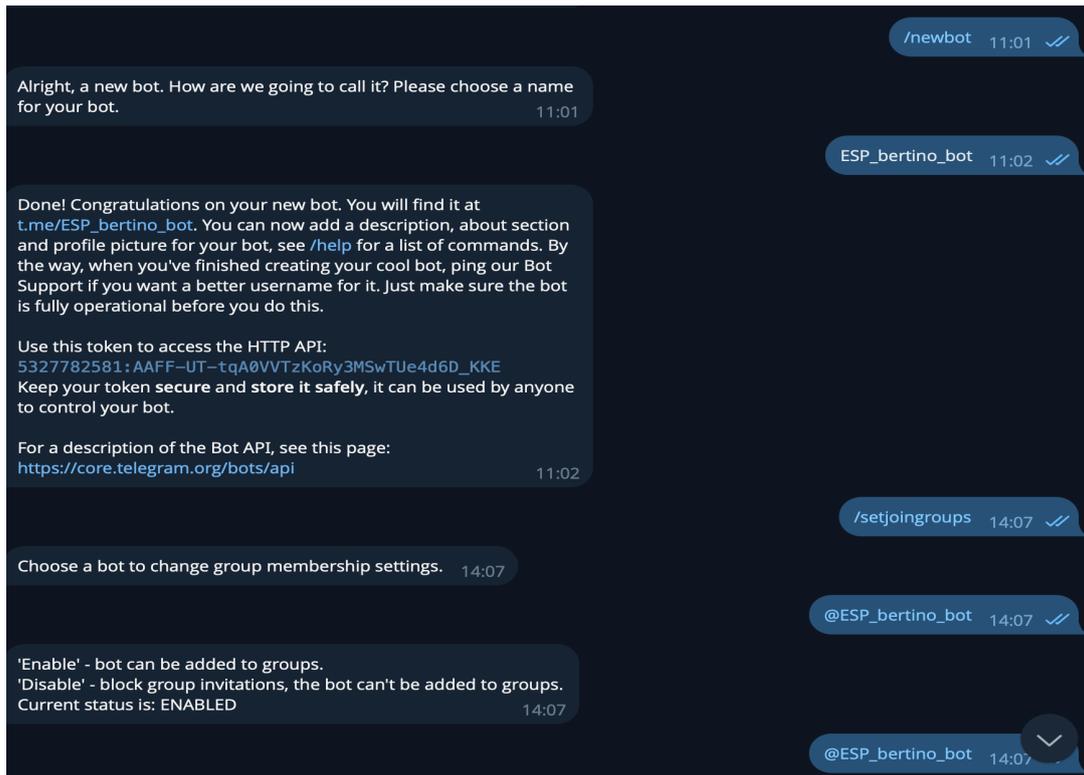


Figura 39. Configuración de Chatbot en Telegram

A partir de los mensajes mediante el protocolo MQTT, el sistema se encuentra en constante monitoreo de las variables de temperatura y humedad registradas por los sensores dentro y fuera del Centro de Datos. En la Figura 40 se ilustran los nodos utilizados en Node - Red para la gestión de las herramientas de alarma, es importante resaltar la existencia de una cadena similar por cada sensor desplegado en el CD.

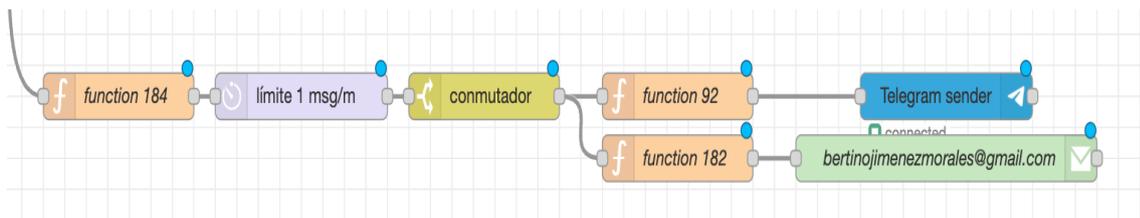


Figura 40. Cadena de nodos utilizados para las herramientas de alarma vía Telegram y correo electrónico.

```

1 var s1 = flow.get('Switch3');
2 var temperatura = msg.payload.valor[1];
3 var humedad = msg.payload.valor[3];
4 var macaddress = msg.payload.valor[4];
5
6 if (temperatura > 25 && s1 == 1){
7   msg.payload = "Alerta, el sensor " + macaddress + " sobrepaso el rango óptimo de temperatura con " + temperatura + "° C." + "\n\nEste mensaje se enviará cada minuto, esto puede desactivarse desde el dashboard principal.";
8   msg.topic = "Alerta";
9 } else if (humedad > 65 && s1 == 1) {
10  msg.payload = "Alerta, el sensor " + macaddress + " sobrepaso el rango óptimo de humedad con " + humedad + "%" + "\n\nEste mensaje se enviará cada minuto, esto puede desactivarse desde el dashboard principal.";
11  msg.topic = "Alerta";
12 } else if (temperatura < 16 && s1 == 1) {
13  msg.payload = "Alerta, el sensor " + macaddress + " esta por debajo el rango óptimo de temperatura " + "\n\nEste mensaje se enviará cada minuto, esto puede desactivarse desde el dashboard principal.";
14  msg.topic = "Alerta";
15 } else if (humedad < 30 && s1 == 1) {
16  msg.payload = "Alerta, el sensor " + macaddress + " esta por debajo el rango óptimo de humedad " + "\n\nEste mensaje se enviará cada minuto, esto puede desactivarse desde el dashboard principal.";
17  msg.topic = "Alerta";
18 } else{
19  msg.topic = "Sin alerta";
20 }
21 return msg;

```

Figura 41. Código para la evaluación de los valores de temperatura y humedad para la gestión de las herramientas de alarma.

Como se aprecia en la Figura 41, la plataforma de Node – Red ejecuta una evaluación de condiciones a partir de los valores de temperatura y humedad recibidos, en caso de presentarse una condición de alerta, la plataforma enviará un mensaje de texto a la aplicación Telegram y un correo electrónico cada minuto detallando el ID y temperatura o humedad registrada superior a los límites establecidos. Lo anterior, se muestra en la Figura 42.

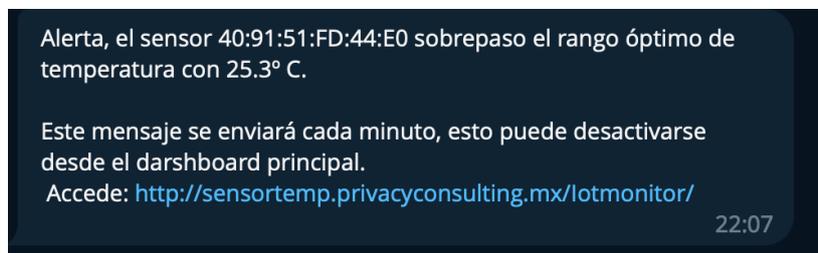


Figura 42. Mensaje de alerta a través de la aplicación Telegram.

En cualquier momento, ya sean condiciones estables o en condiciones de alerta, el usuario cuenta con tres opciones para la interacción con el ChatBot:

1. “Hola”: Al recibir este mensaje la plataforma mostrará las opciones correspondientes para la obtención de la temperatura y humedad más reciente.

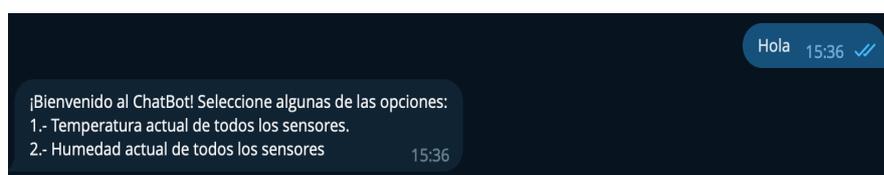


Figura 43. Respuesta del ChatBot a la opción “Hola”.

2. Al seleccionar la opción 1, la plataforma otorga las mediciones de temperatura más recientes de todos los sensores.

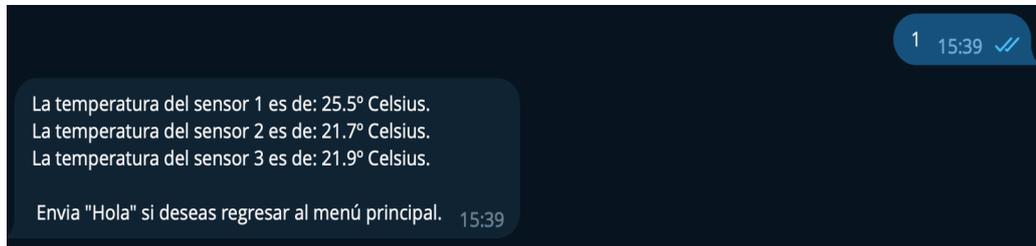


Figura 44. Respuesta del ChatBot a la opción 1.

3. Al seleccionar la opción 2, la plataforma otorga las mediciones de humedad más recientes de todos los sensores.



Figura 45. Respuesta del ChatBot a la opción 2.

Como se mencionó anteriormente, se creó el envío de notificaciones mediante correo electrónico, como una alternativa tradicional para el envío de alertas, de igual manera que los mensajes de alerta mediante la aplicación Telegram, los correos electrónicos serán enviados cada minuto, esto puede cancelarse directamente desde el Dashboard principal con el selector que se muestra en la Figura 47, en caso que el usuario lo considere necesario.

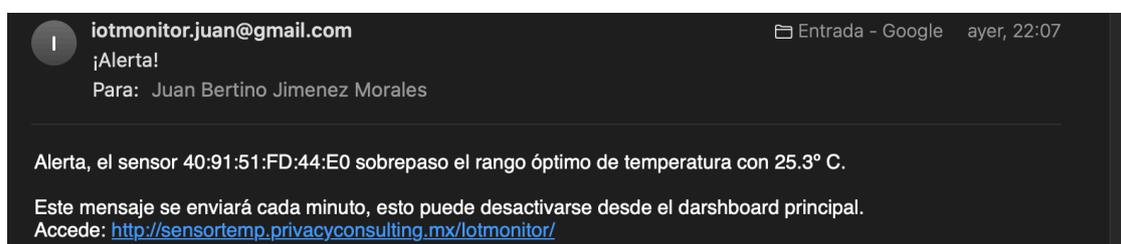


Figura 46. Alerta enviada mediante correo electrónico.

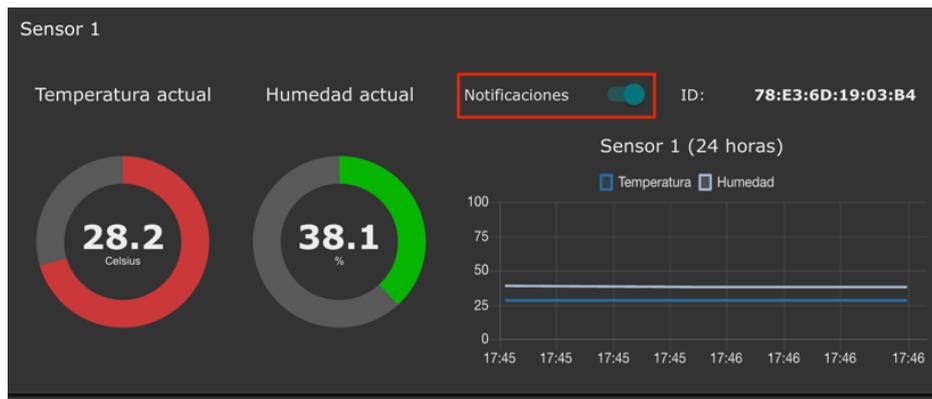


Figura 47. Identificación del boton para activar/desactivar las herramientas de alarma.

Capítulo 6 Pruebas de rendimiento.

Posterior a la integración de hardware y software del prototipo descrito en los capítulos 2 y 3, se realizaron una serie de pruebas de rendimiento con el objetivo de identificar las áreas de oportunidad presentes en el mismo.

Se describirán las cualidades del dispositivo sensor para la recolección de los datos de temperatura y humedad durante periodos de tiempo prolongados. Asimismo, la respuesta e interacción del Dashboard, la presentación de la información y la calidad de la misma posterior a la aplicación de un análisis estadístico que determine la correlación de las variables en diferentes puntos del centro de datos.

6.1 Pruebas de rendimiento y detección de posibles errores.

Con la finalidad de verificar el rendimiento de la plataforma y la operabilidad con los sensores propuestos se realizó un banco de pruebas con un dispositivo sensor con una duración de 1 mes, del 16 de marzo al 17 de abril de 2023 de manera continua.

Los objetivos principales de las pruebas fueron los siguientes:

- Conocer el rendimiento en la operación del módulo de desarrollo ESP-32 Wroom en conjunto con el sensor DHT22.
- Identificar posibles errores en la comunicación dispositivo sensor - plataforma web.
- Conocer el rendimiento del dispositivo sensor durante largos periodos de operación.
- Realizar pruebas sintéticas de situaciones que pueden catalogarse como de riesgo para los Centros de Datos que disparen los sistemas de notificaciones implementados en la plataforma.

La implementación se realizó dentro de una habitación que es utilizada comúnmente como estudio de trabajo en el hogar. Las dimensiones físicas de la habitación son de 2.5 metros de ancho, 3.5 metros de largo y 2.5 metros de alto.

El dispositivo sensor fue localizado en una de las esquinas dentro de la habitación a una distancia aproximada de 50 centímetros de una ventana, la cual es abierta y cerrada en recurrentes ocasiones a lo largo del día. La alimentación se realizó a través de un adaptador de corriente CA/CC USB de 5 Volts y 1 Ampere. No fue utilizada una batería adicional

mediante estas pruebas de rendimiento, derivado de que el adaptador se encontró conectado a un regulador de voltaje (No break).

A continuación se muestran capturas de pantalla y fotos de las pruebas de rendimiento iniciales, resultados iniciales y errores localizados en dicha fase.



Figura 48. Dispositivo sensor durante las pruebas de rendimiento.

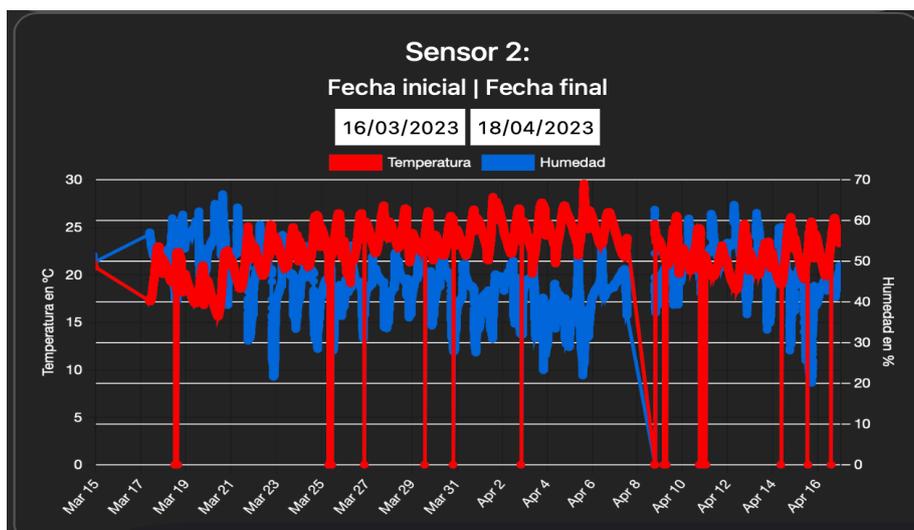


Figura 49. Gráficos de la ventana "Histórico" durante las pruebas de rendimiento.

A partir de lo que se aprecia en la Figura 49. Se logró realizar la identificación de errores presentes en la toma de muestras en puntos determinados de tiempo, mismos que se identifican como un valor "nulo" o con el valor "0" en los registros de las bases de datos.

Tras realizar una inspección de los registros correspondientes se identificó lo siguiente:

- El módulo de desarrollo ESP-32 Wroom presenta, en pocos casos, intermitencia en la conexión con el sensor DHT22 a causa de una conectividad poco estable por las

condiciones del cableado. Sin embargo, la detección de esta situación permitió elaborar un ajuste correspondiente en la conexión del mismo.

- Adicionalmente se consideró un ajuste en el código implementado dentro del módulo de desarrollo ESP-32 Wroom, con la finalidad de discriminar los valores detectados como erróneos, mismos que de conservarse en los registros de las bases de datos afectarán de manera directa el resultado de los análisis estadísticos.

En relación a la revisión de los sistemas de notificaciones, se ejecutaron pruebas sintéticas aleatorias con la intención de simular posibles incrementos de temperatura y humedad en el dispositivo sensor. Las pruebas consistieron en incrementar la temperatura del sensor DHT22 manualmente, por lo que se evaluaron condiciones de temperatura mayores y circunstancias de humedad relativa menores a lo recomendado.

Basado en lo mencionado en el capítulo anterior, es importante mencionar que el bloque de nodos utilizados en la plataforma Node - Red que realizan la evaluación de los registros de temperatura y humedad también actúan como disparador de las herramientas de alerta las cuales son ejecutadas en cada ocasión en la que la plataforma Node – Red recibe un mensaje MQTT.

Lo anterior garantiza que las herramientas de alerta se activen al existir cambios considerables de temperatura y humedad (temperatura mayor a 25° o menor a 16° y humedad relativa mayor al 65% o menor al 30%) detectados por el sensor DHT22, evitando así latencia en la respuesta.

Posterior a ejecutar las pruebas se obtuvieron la ejecución de las tareas correspondientes por parte de la plataforma, mismas que se ilustran en la Figura 50, Figura 51 y Figura 52.

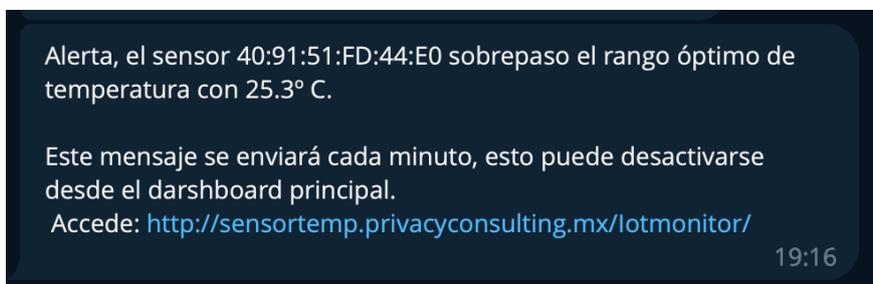


Figura 50. Mensaje de alerta mediante la aplicación de mensajería Telegram (Temperatura).

Alerta, el sensor 40:91:51:FD:44:E0 sobrepaso el rango óptimo de temperatura con 25.3° C.

Este mensaje se enviará cada minuto, esto puede desactivarse desde el dashboard principal.
Accede: <http://sensortemp.privacyconsulting.mx/lotmonitor/>

Figura 51. Mensaje de alerta mediante correo electrónico.

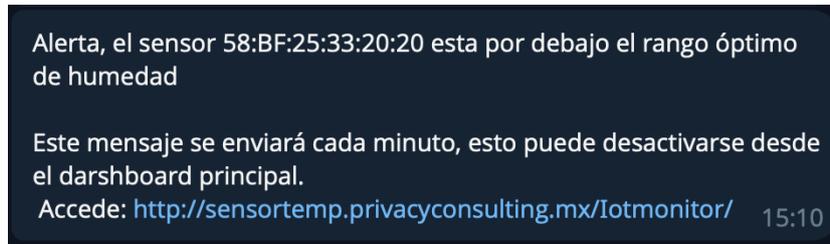


Figura 52. Mensaje de alerta mediante la aplicación de mensajería Telegram (Humedad).

Con los resultados obtenidos se puede determinar que las herramientas de alerta propuestas otorgan un servicio eficiente y eficaz, en caso de que los sensores detecten condiciones consideradas como de riesgo para los Centros de Datos.

6.2 Análisis de datos y dictamen general.

La plataforma propuesta en este proyecto contempla la adquisición de las variables de temperatura y humedad en el interior y exterior del Centro de Datos con la finalidad de realizar una comparación entre todos los registros, dictaminar el estado actual e informar posibles situaciones que afectan la integridad y el rendimiento del mismo.

Estatus				
Sensor	Temp. Prom...	Status	Hum. Prome...	Status
Sensor 1	23.399675	●	47.503462	●
Sensor 2	22.713605	●	49.110802	●
Sensor 3	23.143602	●	50.791014	●

Figura 53. Tabla de estatus presentada en la ventana "Análisis".

Los datos obtenidos del análisis estadístico e interpretación de los registros se muestran en la ventana de "Análisis" del Dashboard, inicialmente se muestra una tabla denominada "Estatus", misma que se presenta en la Figura 53, la tabla describe la temperatura y humedad promedio, datos extraídos al realizar una consulta MySQL a las bases de datos de cada sensor. Adicionalmente, la tabla muestra una columna "Status" indicando con un círculo de

color (verde, amarillo o rojo) haciendo referencia a un sistema de semáforo considerando las condiciones que se refieren en la Tabla 4.

Variable/Indicador	Verde	Amarillo	Rojo
Temperatura	Igual o mayor a 18° C. y menor a 25° C.	Igual o mayor a 25° C. y menor a 27° C.	Igual o mayor a 27° C. o menor a 18° C
Humedad	Igual o mayor al 40% y menor a 50%	Igual o mayor a 50% y menor a 65%	Igual o mayor a 65% o menor a 40%

Tabla 4. Tabla de indicadores de temperatura y humedad promedio.

Cabe mencionar que los rangos considerados para el color de indicadores y los resultados posteriores representados en la ventana de “Análisis” se encuentran alineados con base en lo establecido por Alegre Ramos en (Alegre Ramos, 2011) y la ASHRAE (La Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado) (ASHRAE, 2020).

Posteriormente, se muestra la tabla de “Mínimos y máximos” presentando dichos estadísticos extraídos de las bases de datos por cada uno de los sensores para las variables de temperatura y humedad como se muestra en la Figura 54.

Mínimos y máximos						
Sensor	Temp. Min.	Temp. Máx.	Hum. Min.	Hum. Máx.		
Sensor 1	20.5	32	37.4	83.8		
Sensor 2	20.5	25.1	38.8	59		
Sensor 3	19.8	30.4	38.3	89.2		

Figura 54. Tabla de mínimos y máximos por cada uno de los sensores.

En el análisis de datos propuesto en este proyecto la correlación existente entre los sensores internos y externos al Centro de Datos se considera como resultado de gran importancia. Al obtener a través de la plataforma propuesta el coeficiente de correlación “r” identificado como el coeficiente de correlación de Pearson (Fidell, 2013).

El coeficiente de correlación permite interpretar la relación entre dos variables analizadas, dicho de otra manera, estas variables varían conjuntamente (co-varían), el coeficiente se encuentra entre el rango de -1 a +1 indicando una correlación más fuerte entre más cerca este en esos valores y menor correlación cuando se encuentre más cerca a 0.

De acuerdo a lo presentado en “Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones” por Hernández Lalinde et al. La Fórmula 1 permite calcular el coeficiente mencionado.

$$\rho_{XY} = \frac{\text{Cov}(X,Y)}{\sqrt{\text{Var}(x)}\sqrt{\text{Var}(Y)}} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X\sigma_Y} \quad (1)$$

En donde se realiza la división de la covarianza de las variables X y Y, las cuales están cada una conformadas por un conjunto de registros (números), dividido por la multiplicación de las desviaciones estándar de cada conjunto de variables (X y Y) (Hernández Lalinde, y otros, 2018).

Derivado de lo anterior, mediante la plataforma de desarrollo Node - Red, se realizó la configuración de los nodos necesarios para el cálculo del coeficiente de Pearson. Se utilizó la paquetería “node-red-contrib-prib-functions” para la obtención de la desviación estándar y covarianza. Posteriormente, se ejecutan las consultas en MySQL necesarias para la obtención de los grupos de registros de cada sensor (que representan la variable X y la variable Y) de manera correspondiente, como se muestra en la Figura 55.

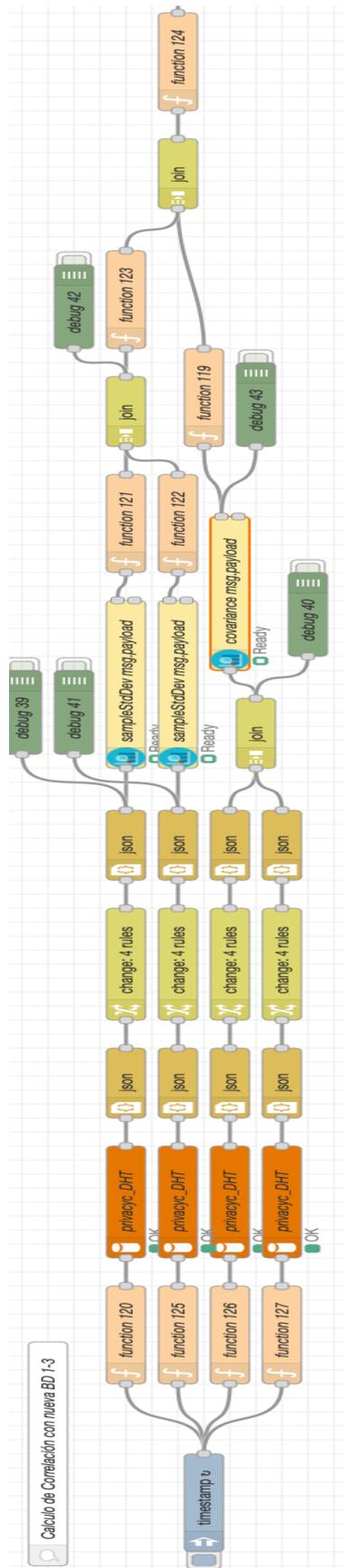


Figura 55. Cálculo del coeficiente de Pearson mediante bloques de Node - Red.

De lo anterior, como se observa en la Figura 55, se obtienen los coeficientes de correlación entre los diferentes sensores localizados dentro y fuera del Centro de Datos, de la misma forma, se realiza un análisis de correlación del sensor interno más cercano al acceso del Centro de Datos y los registros extraídos por medio de OpenWeatherMap.org, con la finalidad de resaltar, en caso de existir, una relación o influencia directa de la temperatura del exterior sobre la temperatura interna al CD.

Así mismo, como se observa en la Figura 56, se detalla una tabla de interpretación con base en el trabajo de Hernández Lalinde, et al (2018). En la tabla se describe una categoría para cada rango en que se encuentre localizado el coeficiente de correlación de Pearson.

Correlación	
Sensores	Correlación
S1 - S2	0.42249479520156535
S1 - S3	-0.3715451495977776
S2 - S3	-0.5207774363828293
S1 - OpenWeather	-0.9502552372174545
S1 - Sensor Externo CD	0.042434331259093

Interpretación
Correlación dentro del rango: $0.00 \leq \text{Cor} < 0.10$ (Correlación nula)
Correlación dentro del rango: $0.10 \leq \text{Cor} < 0.30$ (Correlación débil)
Correlación dentro del rango: $0.30 \leq \text{Cor} < 0.50$ (Correlación moderada)
Correlación dentro del rango: $0.50 \leq \text{Cor} < 1.00$ (Correlación fuerte)

Figura 56. Tablas de correlación e interpretación del coeficiente de Pearson.

Por último, en la Figura 57 se redacta un dictamen general con base en los resultados de los coeficientes de correlación entre los sensores del Centro de Datos, emitiendo una opinión dinámica de los posibles factores causales de un latente riesgo para los equipos informáticos, es decir, que el dictamen cambiará de acuerdo a los resultados de los coeficientes hallados tras la ejecución del análisis.

Adicionalmente, se mencionan los registros que, en caso de existir, son detectados fuera de los límites recomendados para el óptimo cuidado y funcionamiento de los equipos de cómputo.

Dictamen

1.- Correlación con la temperatura exterior (OpenWeatherMap):

La correlación con la temperatura del exterior es fuerte de manera inversa lo que indica una alta influencia del exterior sobre el centro de datos.

2.- Correlación con la temperatura del sensor exterior al Centro de Datos:

La correlación con la temperatura del exterior es nula lo que indica una influencia nula del sensor exterior sobre el centro de datos.

3.- Correlación entre los sensores internos:

Existe baja correlación entre los sensores, esto indica que existe inestabilidad en el flujo de aire dentro del Centro de Datos.

4.- Verificación de registros fuera de los límites:

Sensor 1: Se han detectado 1207 registros con un valor de temperatura mayor a 25°C. y 4 registros con un porcentaje mayor al 60% de humedad.

Sensor 2: No se han detectado registros superiores a los límites establecidos para el Centro de Datos.

Sensor 3: Se han detectado 434 registros con un valor de temperatura mayor a 25°C. y 207 registros con un porcentaje mayor al 60% de humedad.

Figura 57. Dictamen general del Centro de Datos, basado en los resultados de los coeficientes de correlación.

Como parte de las pruebas de rendimiento, se realizó un ejercicio de comparación entre los resultados del análisis de las muestras de temperatura y humedad recolectadas en campo real (dentro de un SITE) y los resultados arrojados por la plataforma propuesta en este documento, las muestras comprenden un periodo de tiempo definido en donde se lograron capturar los registros de tres sensores localizados en el interior y un sensor externo localizado al exterior del SITE.

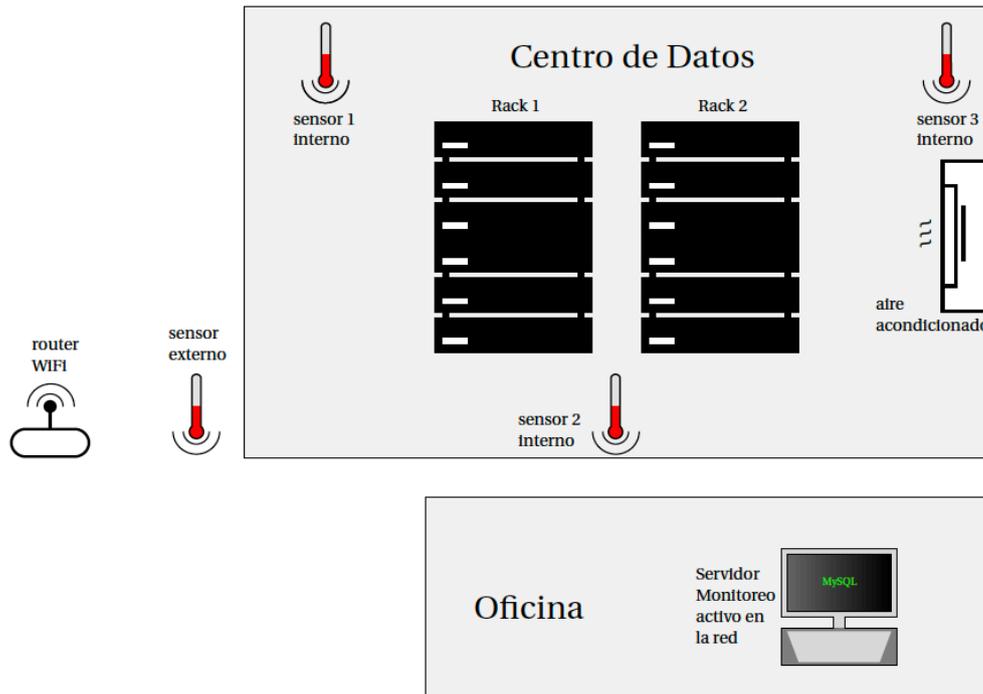


Figura 58. Distribución utilizada dentro de la recolección de datos (J. B. Jiménez–Morales, 2022).

En la Figura 58 se puede apreciar el arreglo físico de la recolección de muestras de temperatura y humedad en un entorno real (SITE). Como se menciona en el párrafo anterior, gracias a los resultados obtenidos en el trabajo referenciado, se realizó la comparación de los coeficientes de correlación obtenidos en diferentes herramientas estadísticas como IBM SPSS Statistics, Matlab y Octave. Con ello, en ese documento se concluyó una fuerte correlación en las tres ubicaciones al interior del SITE sujetas a estudio. Por otro lado, se demostró una nula correlación con la temperatura en el exterior de la habitación (Juan Bertino Jiménez Morales, 2022).

Con el objetivo de corroborar los resultados otorgados por la plataforma desarrollada en este documento, se compararon los resultados mencionados anteriormente y los obtenidos por la plataforma propuesta, enfatizándose en el valor resultante del coeficiente de correlación de Pearson.

Para ello, se realizó la carga de los registros capturados con anterioridad en una base de datos denominada "privacyc_data", en la Figura 59 se muestra la estructura de la tabla "data" con la información proveniente de la muestra real.

Hora	T1	Humedad 1 alejado del AC	T2	Humedad 2 Cercano al AC	T4	Humedad Exterior	T3	Humedad 3 esquina
2010-08-05	20.6	36.9	20.6	36.8	22.3	38.8	19.7	46.8
0000-00-00	20.5	36.8	20.4	36.9	22.3	38.5	19.8	48.2
2010-09-05	20.3	36.7	20.1	37	22.3	38.5	19.8	49.3
0000-00-00	20.3	36.8	20	37	22.3	38.7	19.9	50.2
2010-10-05	20.2	37.9	19.8	37	22.2	38.8	20	51
0000-00-00	20.1	40.8	19.6	37.1	22.2	38.9	20.1	51.6
2010-11-05	20.1	43	19.5	38.4	22.2	38.8	20.1	51.7
0000-00-00	20.1	44.6	19.5	40.8	22.2	38.7	20.2	51.6
2010-12-05	20.1	46	19.5	43.3	22.2	38.7	20.3	51.4
0000-00-00	20.2	47.5	19.6	45.1	22.3	38.8	20.4	50.9
0000-00-00	20.2	48.6	19.7	46.8	22.3	38.7	20.5	50.4
0000-00-00	20.3	49.5	19.8	48.2	22.3	38.5	20.6	50
0000-00-00	20.3	50.3	19.8	49.3	22.3	38.5	20.6	49.6
0000-00-00	20.4	50.7	19.9	50.2	22.3	38.3	20.7	49.3
0000-00-00	20.4	50.9	20	51	22.3	38.5	20.7	48.8
0000-00-00	20.5	50.7	20.1	51.6	22.3	38.6	20.8	48.6
0000-00-00	20.6	50.5	20.1	51.7	22.3	38.6	20.8	48.4
0000-00-00	20.6	50.2	20.2	51.6	22.3	38.4	20.8	48.1
0000-00-00	20.7	49.7	20.3	51.4	22.3	38.5	20.9	47.6
0000-00-00	20.8	49.2	20.4	50.9	22.4	39.1	20.9	47
0000-00-00	20.9	48.9	20.5	50.4	22.4	38.6	20.9	45.2
0000-00-00	21	48.2	20.6	50	22.4	38.6	20.9	43.9
0000-00-00	21.1	47.8	20.6	49.6	22.4	38.7	20.8	42.8
0000-00-00	21.1	47.7	20.7	49.3	22.4	38.6	20.7	42.1
0000-00-00	21.2	47.3	20.7	48.8	22.4	38.5	20.5	41.5

Figura 59. Tabla “data” con registros obtenidos de una muestra real.

Utilizando la estructura de nodos ilustrada en la Figura 60, a través de la plataforma Node – Red, se realizó la configuración necesaria para la obtención del coeficiente de correlación de la base de datos “privacyc_data” como se observa en la Figura 61.

En comparación a lo presentado en la Figura 62 y Figura 63, la plataforma propuesta en este documento obtuvo un coeficiente de correlación de 0.9659, concluyendo una aproximación muy considerable en comparación con los valores de 0.967 obtenido en la plataforma IBM SPSS Statistics y de 0.9672 a través la herramienta Octave, ambos utilizados en el artículo anteriormente mencionado. Por lo anterior, se interpreta que la plataforma desarrollada en este proyecto brinda una calidad similar en los resultados proporcionados a los que se otorgan en herramientas orientadas al análisis de información y estadística.

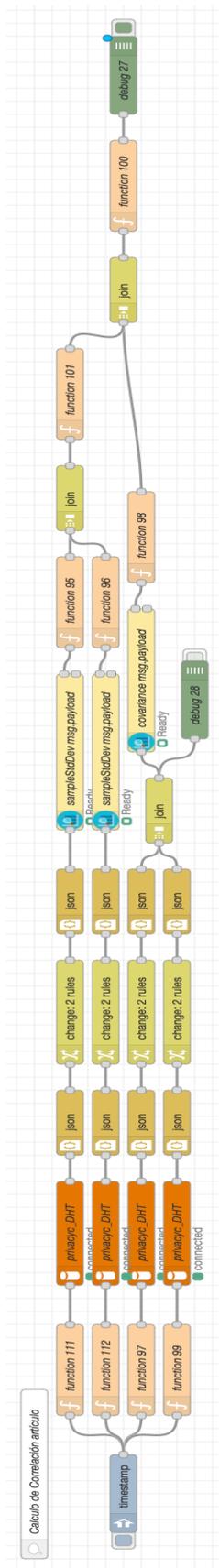


Figura 60. Nodos utilizados para la comparación de resultados con los registros obtenidos anteriormente.

```
SELECT T2 FROM data; : msg.payload :
number
0.9659184699035501
```

Figura 61. Coeficiente de correlación obtenido mediante la plataforma propuesta en conjunto con Node - Red.

Correlaciones			
		Temp1	Temp2
Temp1	Correlación de Pearson	1	,967**
	Sig. (bilateral)		<,001
	N	739	739
Temp2	Correlación de Pearson	,967**	1
	Sig. (bilateral)	<,001	
	N	739	739

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Figura 62. Coeficiente de correlación obtenido de la plataforma IBM SPSS Statistics.

correlacion	double	1x1	0.9672
matrizOrigen	double	738x9	[10, 20.600, 36.900, 20....
temperatura1	double	738x1	[20.600; 20.500; 20.30...
temperatura2	double	738x1	[20.600; 20.400; 20.100...

Figura 63. Coeficiente de correlación obtenido mediante la aplicación Octave.

Con la intención de mejorar el rendimiento general del dispositivo sensor y en búsqueda de lograr obtener un dispositivo que utilice una fuente de alimentación independiente de la instalación eléctrica del Centro de Datos. Se realizaron diferentes pruebas de rendimiento con dos alternativas de baterías las cuales se describen a continuación:



Figura 64. Batería de Li-ion que opera a 3.7V con una capacidad de 2,800mAh.



Figura 65. Power bank (batería de respaldo externa) con una capacidad de 20,000mAh.

Con la finalidad de alargar la eficiencia energética, se determinó realizar una prueba de rendimiento eliminando del código fuente las declaraciones de texto hacia la salida serial del microcontrolador. Se continuó con un intervalo de 30 segundos para la obtención de los datos de temperatura y humedad.

Después de realizar las pruebas se localizaron los siguientes resultados.

Batería	Tiempo en funcionamiento.
Batería de Li-ion de 2,800mAh.	11:48 am – 6:56 pm (7 horas aprox)
Batería de respaldo externa de 20,000mAh.	8:47 pm 12/12/2024 – 10:43 pm 20/12/2024 (8 días)

Tabla 5. Resultados de tiempo de funcionamiento con baterías.

Es importante mencionar que para la realización de las pruebas de rendimiento con batería se realizó una adecuación al diseño 3D anteriormente presentado. Con el objetivo de integrar de una manera mas eficiente la batería de Li-ion de 2,800mAh a la carcasa.



Figura 66. Modificación del diseño integrando batería de 3,7V.



Figura 67. Implementación de pruebas de rendimiento del modelo 3D del dispositivo sensor con espacio adicional para batería de 3,7V.



Figura 68. Implementación de pruebas de rendimiento del modelo 3D del dispositivo sensor con batería externa de 20,000mAh.

Como se puede apreciar, el rendimiento utilizando la batería de Li-ion de 2,800mAh otorga un tiempo de funcionamiento aproximado de 7 horas, este tiempo puede ser extendido en medida de que el intervalo para la obtención de datos sea mayor. Es posible ajustar el tiempo de recolección de datos entre segundos y minutos e incluso horas. Sin embargo, la cantidad total de muestras diaras se vería considerablemente reducida. Esto puede reducir la resolución del análisis de la condición actual del Centro de Datos. Asimismo, puede generar un aumento en el tiempo de envío notificaciones en caso de localizar un incremento inesperado en la temperatura o la humedad del CD.

Con la batería de respaldo externa de 20,000mAh, se obtuvo un tiempo de operación de 8 días. Como se mencionó anteriormente, el tiempo de operación puede extenderse si se emplea un intervalo de recolección más grande entre cada muestra de temperatura y humedad por sensor.

Considerando que de manera general un Centro de Datos deberá de contener los sistemas adecuados de respaldo de energía los cuales garanticen la operabilidad del mismo sin interrupciones. La instalación del dispositivo sensor presentado en este documento puede considerarse mediante una fuente de alimentación USB conectada a la red eléctrica del CD. Por otro lado la batería incluida en la carcasa puede fungir como batería de respaldo en caso de que el Centro de Datos se encuentre sin energía eléctrica.

Conclusiones

Como se ha demostrado en este documento el cuidado y resguardo de los Centros de Datos es de vital importancia. La sociedad actual crea, almacena y consulta información de manera ininterrumpida, afectando ejes importantes como el desarrollo económico, social, de entretenimiento, de salud, industrial, del hogar, ambiental, entre otros.

La inclusión y contribución de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas permiten evolucionar las soluciones orientadas a atender las necesidades de cada uno de estos sectores. Apoyándose de nuevos esquemas, estructuras de redes y comunicaciones entre equipos informáticos, tales como servidores, switches, routers y dispositivos de almacenamiento de datos, los cuales deberán mantenerse en constante monitoreo con el objetivo de garantizar un rendimiento óptimo, una larga vida de operación y la salvaguarda de su información.

Durante este proyecto se realizó la integración de un prototipo sensor con el que fue posible realizar la recolección de las variables de temperatura y humedad en el interior y exterior de un Centro de Datos.

El dispositivo sensor se consolida por un módulo de desarrollo ESP-32 WROOM 32 y un sensor de temperatura y humedad DHT22, colocados dentro de una carcasa diseñada y elaborada mediante impresión 3D.

El dispositivo permite la recolección y envío de muestras de las variables mencionadas, a través del protocolo de comunicación MQTT, para su almacenamiento, los mensajes son recibidos por un equipo servidor en la nube configurado en la plataforma Microsoft Azure que a su vez ejecuta las aplicaciones Mosquitto MQTT (en modo servidor o “broker” MQTT) y la plataforma de desarrollo Node – Red.

La plataforma Node - Red es la encargada de realizar la inserción a bases de datos MySQL localizada en la nube, la ejecución de consultas SQL, efectuar las operaciones para la obtención del coeficiente de correlación, despliegue del Dashboard y la integración de las herramientas de alarma.

Se desarrolló una plataforma web y Dashboard basada en Internet de las Cosas y el análisis de datos, combinando la herramienta Node – Red con la metodología VROps para establecer widgets enfocados a brindar una experiencia de uso agradable para el usuario y un eficiente

monitoreo de las variables de temperatura y humedad con una calidad similar a lo identificado en el sector comercial.

La metodología VROps implementada permite una estructura y flujo de trabajo orientados a brindar una presentación clara y consistente de las variables de temperatura y humedad. Se ilustran de manera principal los registros obtenidos en tiempo real de manera individual (por cada dispositivo sensor) con el apoyo de widgets y gráficas lineales.

Se estableció un método de envío de alertas mediante la aplicación de mensajería instantánea Telegram y correo electrónico. Esto permite al usuario tener conocimiento de la situación de manera eficaz basado en las muestras de temperatura y humedad, ante condiciones que son catalogadas como de riesgo para los Centros de Datos (temperatura mayor a 25° o menor a 16° y humedad relativa mayor al 65% o menor al 30%). Esta función otorga una ventaja flexible y competitiva frente a las soluciones comerciales actuales brindando seguridad y estabilidad a los equipos informáticos.

Tras la aplicación de pruebas sintéticas las cuales simulan condiciones adversas de temperatura y humedad que exceden rangos de operación óptimos para los Centros de datos, se demostró una operabilidad destacable de las herramientas de alarma, a través de la implementación de un ChatBot dentro de la aplicación de mensajería Telegram y correo electrónico. Esto otorga una comunicación bidireccional con el usuario, lo que permite obtener de primera mano un resumen detallado con los registros de temperatura y humedad más recientes.

Por otra parte, se presentan gráficas lineales individuales, a través de la ventana "Histórico", con ello se permite al usuario final realizar un análisis a profundidad a lo largo del tiempo por cada sensor colocado al interior o exterior del CD y conocer el comportamiento y posibles variaciones presentadas en cada dispositivo.

De la misma manera, se otorga una ventana dedicada al análisis de los datos recolectados y su interpretación, con la intención de apoyar al usuario en una correcta toma de decisiones. El análisis se realiza mediante un estudio de correlación entre los sensores distribuidos al interior y exterior del Centro de Datos para lograr determinar el coeficiente de Pearson, lo cual define un panorama general de las condiciones de temperatura y humedad en diferentes puntos espaciales dentro y fuera del Centro de Datos.

La ventana de análisis permite al usuario entender el comportamiento de la temperatura y humedad del CD a través del estudio de la temperatura registrada en el exterior e interior y con ello, emitir un breve dictamen diagnosticando una posible causal a las variaciones de temperatura y humedad.

Se realizó una comparación de los resultados otorgados por la plataforma propuesta en este documento y los entregados por herramientas estadísticas alimentadas con datos de un entorno real. Dichos resultados fueron publicados en el artículo “Internet de las cosas y variaciones de temperatura y humedad dentro de un site”, publicado en el Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías en colaboración con parte del cuerpo académico de investigación de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Tras la comparación de los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos en ambos trabajos, se determinó que la plataforma propuesta en este documento estima un análisis de datos de correlación correcto, otorgando un nivel de confianza similar a las herramientas de análisis y estadística utilizadas en el trabajo anterior. Es importante mencionar que existe una relación importante entre la fidelidad de la información otorgada por la plataforma web y la cantidad de sensores desplegados dentro del Centro de Datos.

Dicho de otra manera, la cantidad necesaria de sensores desplegados en un Centro de Datos podrá variar en función de las características particulares de distribución y el volumen del área sometida a investigación, así como la cantidad de dispositivos informáticos, equipos de telecomunicaciones, banco de baterías entre otros más. Sin embargo, la cantidad mínima de sensores necesaria para analizar una posible variación de la temperatura y humedad es de dos sensores, dado que es necesario contar con un mínimo de dos bloques de registros para la aplicación de un análisis de correlación.

En conjunto de lo anterior, se otorga una alternativa adicional al mercado la cual permite que existan en todo momento conocimiento de las condiciones climáticas ideales mencionadas por organismos como la ICREA y ASHRAE (Asociación Internacional de Expertos en Cuartos de Cómputo y la Sociedad de Ingenieros Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado) para el resguardo de los equipos informáticos y de telecomunicaciones.

Es importante destacar la presencia de una limitante localizada durante las pruebas de rendimiento de los dispositivos sensores, la cual se relaciona a la implementación adecuada de una fuente de alimentación no cableada incorporada al dispositivo sensor. Después de realizar pruebas con baterías de 3,7V y una batería de respaldo externa de 5V, se detectó la

necesidad de realizar un diseño adecuado que logre prolongar el funcionamiento del dispositivo durante largos periodos de tiempo. Lo anterior es considerado su diseño e implementación como parte del trabajo futuro propuesto. Derivado de lo anterior, el dispositivo propuesto en este documento deberá considerar una instalación cableada a una fuente de alimentación.

Por todo lo anterior, se establece la factibilidad de la plataforma web propuesta en este proyecto, al brindar una alternativa eficiente aprovechando los beneficios otorgados de la implementación del Internet de las cosas y el análisis de datos que garantizan una gran confianza y veracidad en los resultados obtenidos.

Para el trabajo futuro propuesto, se plantea la adecuación de un sistema de alimentación apropiado para las necesidades particulares del dispositivo sensor, considerando la clara necesidad de colocar la mayor cantidad de dispositivos sensores en diferentes ubicaciones en el interior y exterior del Centro de Datos durante largos periodos de tiempo. Adicionalmente, se identifica la oportunidad de indagar en la proyección de un modelo de análisis estadístico que permita la predicción de las variables climáticas del CD en función de la información previamente recolectada, con lo cual se elabore una estrategia que ataque eventuales episodios generadores de variaciones en la temperatura y humedad.

Por otro lado, es importante anticipar la necesidad de un dispositivo actuador que permitirá la interacción de la plataforma con el mundo físico, lo cual conceda el control de las variables de temperatura y humedad ante situaciones que así lo requieran, ejemplo de ello, eventualidades como la pérdida de alimentación de los equipos de refrigeración, la optimización del aire para los momentos de alta carga de trabajo para los servidores o bien, el incremento descontrolado en la temperatura de un componente, equipo informático o de telecomunicaciones.

Bibliografía

- Alanis-Navarro, J. C.-B.-C.-D. (2017). Correlación y regresión lineal de variables climatológicas para el diseño ecotecnologías y arquitectura bioclimática. *Revista de Arquitectura y Diseño Vol.1 No.2*, 1-12.
- Alegre Ramos, A. G.-C. (2011). *Seguridad Informática*. Madrid, España: Ediciones Parainfo, SA.
- Alexander Maier, Y. V. (2017). Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32 Microcontroller Module for the Internet of Things. *7th International Conference on Internet Technologies and Applications*. Wrexham, UK.
- A. Grishina, M. C.-L.-P. (2022). Thermal awareness to enhance data center energy efficiency. *Cleaner Engineering and Technology, Volume 6*.
- A. Medina-Santiago, A. D.-Z.-M.-R.-S.-P. (2020). Adaptive Model IoT for Monitoring in Data Centers. *IEEE Access Vol.8*, 5622-5634.
- AISBL, E. F. (5 de Abril de 2025). *Eclipse Mosquitto*. Obtenido de Mosquitto: <https://mosquitto.org/>
- Apps Apple*. (2023). Obtenido de Apple.com: <https://apps.apple.com/es/app/telegram-messenger/id686449807>
- ASHRAE. (2020). *ASHRAE TC 9.9 Technical Bulletin Edge Computing: Considerations for Reliable Operation*. Obtenido de ASHRAE: <https://www.ashrae.org/>
- Azure. (2023). Obtenido de Microsoft Azure: <https://azure.microsoft.com/es-mx/explore/>
- Cisco Systems, I. (2022). *Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper*. Obtenido de Cisco Systems, Inc.: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>
- Cuby Smart*. (2023). Obtenido de Cuby Smart: <https://www.cuby.mx>
- Datasheet, E.-W.-3. (2022). *ESP32-WROOM-32 DATASHEET*. Obtenido de espressif.com: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf
- Digital, M. d. (2022). *Módulo/sensor de temperatura y humedad relativa con salida digital*. Obtenido de Sparkfun.com: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- Donie O'Sullivan, B. F. (12 de septiembre de 2022). *Extreme California heat knocks key Twitter data center offline*. Obtenido de CNN Business: <https://edition.cnn.com/2022/09/12/tech/twitter-data-center-california-heat-wave/index.html>
- Dylan Wall, P. M. (2021). Development of an Internet of Things solution to monitor and analyse indoor air quality. *Internet of Things, Volume 14*.
- Farshad Firouzi, K. C. (2020). *Intelligent Internet of Things From Device to Fog and Cloud*. Nature Switzerland: Springer.
- Fidell, B. G. (2013). *Using Multivariate Statistics*. Pearson Education, Inc.
- Hallstrom, M. L. (2017). Reliable, Non-Invasive Approach to Data Center Monitoring and Management. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal Vol. 2*, 1577-1584.
- He, Z. H. (2016). Study of hot air recirculation and thermal management in data centers by using temperature rise distribution. *Build. Simul. 9*, 541–550.
- Hernández Lalinde, J. D., Espinosa Castro, F., Rodríguez, J. E., Chacón Rangel, J. G., Toloza Sierra, C. A., Arenas Torrado, M. K., . . . Bermúdez Pirela, V. J. (2018). Sobre el uso

- adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*.
- Herrero, R. (2021). *Fundamentals of IoT Communication Technologies*. Boston, MA, USA: Springer Cham.
- HiveMQ. (2023). *HiveMQ*. Obtenido de HiveMQ GmbH: <https://www.hivemq.com>
- Hospedando.mx. (Abril de 2025). *Hospedando.mx*. Obtenido de Hospedando.mx: <https://www.hospedando.com.mx/la-empresa>
- José Ignacio Vega-Luna, F. J.-R.-A. (2019). Monitoring System for Doors and Windows of a Data Center with IoT. *INGENUIS Revista de Ciencia y Tecnología*.
- Juan Bertino Jiménez Morales, J. S. (2022). Internet de las cosas y variaciones de temperatura y humedad dentro de un site. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 112-119.
- K. H. Cheong, K. J.-G. (2019). A Novel Methodology to Improve Cooling Efficiency at Data Centers. *IEEE Access*, vol. 7, 153799-153809.
- K. M. U. Ahmed, M. H. (2021). A Review of Data Centers Energy Consumption and Reliability Modeling. *IEEE Access*, vol. 9, 152536-152563.
- LOXONE. (2023). Obtenido de LOXONE: <https://www.loxone.com/int/>
- Mansaf Alam, K. A. (2020). *Internet of Things (IoT) Concepts and Applications*. Switzerland: Springer.
- Melvin Kevin López Asto, J. J. (2023). The impact of Design Thinking on technology. *Revista Innovación y Software*, 63-78.
- Mehta, G. &. (2018). Application of IoT to optimize Data Center operations. *International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*. Greater Noida, UP, India: Galgotias University.
- MMdn_. (2023). Obtenido de MMdn_: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTTP/Methods/POST>
- Monteiro, P. Z. (2018). Indoor Temperature Prediction in an IoT Scenario. *Sensors 18*.
- Node - RED. (2023). Obtenido de Node - RED: <https://nodered.org>
- OpenWeather. (2023). *OpenWeather*. Obtenido de openweathermap.org: <https://openweathermap.org>
- Operations, E. E. (2017). *schneider-electric.com*. Obtenido de [schneider-electric.com](https://www.se.com/us/en/download/document/SPD_PDON-936Q6N_EN/): https://www.se.com/us/en/download/document/SPD_PDON-936Q6N_EN/
- Oracle. (10 de diciembre de 2022). *Oracle.com*. Obtenido de Oracle: <https://www.oracle.com/mx/internet-of-things/what-is-iot/>
- Patera, L., Garbugli, A., Bujari, A., Scotece, D., & Corradi, A. (2022). A Layered Middleware for OT/IT Convergence to Empower Industry 5.0 Applications. *Sensors 2022*, 190.
- Pérez, J. C. (2015). *Administración de Hardware de un Sistema Informático*. Madrid, España: MACRO.
- Rambo, J. J. (2007). Modeling of data center airflow and heat transfer: State of the art and future trends. *Distrib Parallel Databases 21*, 193–225.
- Raposo, D. a. (2018). Industrial IoT Monitoring: Technologies and Architecture Proposal. *MDPI*. Obtenido de [MDPI.com](https://www.mdpi.com).
- S. Mantravadi, R. S. (2020). Securing IT/OT Links for Low Power IIoT Devices: Design Considerations for Industry 4.0. *IEEE Access*, vol. 8, 200305-200321.
- Salam, A. R. (2019). *Internet of Things From Hype to Reality The road to digitization*. San Jose, CA, USA.: Springer Nature Switzerland.

- Sheikh Ferdoush, X. L. (2014). Wireless Sensor Network System Design Using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications. *Procedia Computer Science, Volume 34*, 103-110.
- Snevly, R. (2001). *Enterprise Data Center Design and Methodology*. Palo Alto, CA.: Sun Microsystems, Inc.
- Sunyaev, A. (2020). *Internet Computing Principles of Distributed Systems and Emerging Internet-Based Technologies*. Karlsruhe, Germany: Springer.
- Swinhoe, P. J. (20 de julio de 2022). *Un fallo de refrigeración hace que se interrumpa el Data Center de Google Cloud en Londres en el día más caluroso de Reino Unido*. Obtenido de Data Center Dynamics: <https://www.datacenterdynamics.com/es/noticias/un-fallo-de-refrigeraci%C3%B3n-hace-que-se-interrumpa-el-data-center-de-google-cloud-en-londres-en-el-d%C3%ADa-m%C3%A1s-caluroso-de-reino-unido/>
- Y.A. Ahmad, T. S. (2021). On the Evaluation of DHT22 Temperature Sensor for IoT Application. *2021 8th International Conference on Computer and Communication Engineering*, (págs. 131-134). Kuala Lumpur, Malaysia.
- Yaquelin Córdova Viera, J. M. (2021). Propuesta de metodología para diseño de dashboard. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 56-76.
- Yassine, M. (2021). IT/OT convergence and cybersecurity. *Computer Fraud & Security*.

Glosario de terminos.

API: Application Programming Interface, es un conjunto de funciones y procedimientos que permiten la integración y reutilización de funciones de sistemas de software.

Broker MQTT: Servidor de cómputo que actúa como intermediario en la comunicación entre dispositivos o aplicaciones que utilizan el protocolo MQTT.

ChatBot: Programa informático diseñado para simular una conversación humana.

CSS: Cascading Style Sheets (Hojas de estilo en cascada), lenguaje de programación orientado a definir el estilo de texto en páginas HTML.

HTML: HyperText Markup Language, lenguaje utilizado para la creación de páginas web.

JavaScript: Lenguaje de programación de script, permite añadir interacciones y funciones a una página web.

JSON: JavaScript Object Notation, formato de representación de datos basado en Javascript.

KPI: Indicador Clave de Desempeño (Key Performance Indicator), métrica que mide el progreso hacia metas y objetivos de un proyecto.

MAC: Media Access Control, identificador único de hardware para interfaces de red.

MySQL: Sistema de gestión de bases de datos relacional de código abierto.

M2M: Machine to Machine (maquina a maquina), intercambio de información digital entre dos máquinas.

SITE: Infraestructura para el almacenamiento de equipos de redes y telecomunicaciones.

SRAM: Static Random Access Memory, memoria que se mantiene estable mientras exista alimentación en el circuito.

TI: Tecnologías de la información, conjunto de herramientas y recursos técnicos para la gestión, procesamiento, almacenamiento y transmisión de la información.

TO: Tecnología Operacional, orientada a gestionar y controlar los procesos operativos de una empresa, como la automatización, gestión de sistemas y sistemas de control de calidad.

VROps: Metodología de diseño de Dashboards que proporciona siete fases de diseño orientadas a la interacción de los usuarios.

Zettabyte: Unidad de medida de almacenamiento de datos equivalente a mil millones de terabytes.

IoT World Forum: Foro mundial de IoT organizado por Cisco, IBM, entre otras más.

Lista de abreviaturas y siglas.

- ASHRAE** - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, sociedad técnica internacional enfocada en la calefacción, ventilación aire acondicionado y refrigeración.
- CD** - Centro de Datos.
- HR** - Humedad Relativa.
- ICREA** - International Computer Room Expert Association, asociación internacional sin fines de lucro formada por ingenieros especializados en el diseño, construcción, operación, administración, mantenimiento, adquisición, instalación y auditoría de centros de cómputo.
- IDE** - Integrated Development Environment, aplicación de software que permite la creación, depuración y prueba programas.
- MQTT** - Message Queuing Telemetry Transport, protocolo de comunicación ligero diseñado para comunicación entre dispositivos de Internet de las Cosas.

Lista de ecuaciones

1. Ecuación de Correlación de Pearson

$$\rho_{XY} = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}(x)}\sqrt{\text{Var}(Y)}} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X\sigma_Y}$$

Anexos

Anexo 1: Portada PÄDI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI.



Anexo 2: Portada del artículo “Internet de las cosas y variaciones de temperatura y humedad dentro de un site”.



Internet de las cosas y variaciones de temperatura y humedad dentro de un site

Internet of things and temperature and humidity variations inside a site

J. B. Jiménez–Morales^a, J. Suárez–Cansino^{b,*}, V. López–Morales^b, A. Franco–Árcega^b

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Computación y Electrónica, Maestría en Internet de las Cosas, Colonia Carboneras, CP 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Computación y Electrónica, Cuerpo Académico de Computación Inteligente, Colonia Carboneras, CP 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

Resumen

El conocimiento y control del comportamiento de las variables de temperatura y humedad dentro de un SITE o Centro de Datos es de vital importancia para evitar situaciones de riesgo dentro del mismo, tales como por ejemplo oxidaciones, sobrecalentamiento de dispositivos o equipos de cómputo, incendios de los mismos, etc. Este es un tema que preocupa a diversas organizaciones cuyos servicios se soportan por equipos de cómputo o informáticos localizados en espacios especiales cerrados ubicados dentro de la misma organización, y que son conocidos como SITE o Centro de Datos. En este trabajo y en esta fase del proyecto, se llevan a cabo mediciones experimentales de humedad y temperatura dentro y fuera de un SITE con el propósito de adquirir información acerca de los procedimientos teóricos que modelen el comportamiento del frío y humedad dentro del Centro de Datos, acerca de los procedimientos experimentales que permitan obtener datos confiables de temperatura y humedad con los cuales sea posible validar, a futuro, los modelos propuestos que describen el comportamiento de estas variables, y acerca de los procedimientos que usen el concepto de IoT para obtener una mejor comprensión del comportamiento de las variables mencionadas y cómo éstas pueden adquirirse y controlarse por medio de esta tecnología. La metodología empleada es experimental con adquisición de datos a través de Internet de las Cosas, realizando el análisis de éstos a través de técnicas estadísticas que determinan la confiabilidad de los mismos, para posteriormente estudiar la capacidad predictiva y de control que tiene una red neuronal artificial adaptable lineal, buscando con ello tener una idea de cómo homogeneizar, en el tiempo y en el espacio, las temperaturas y humedades dentro del SITE. Los resultados obtenidos son prometedores ya que se descubre efectivamente una fuerte correlación entre las temperaturas en dos puntos diferentes dentro del SITE y como funciones del tiempo y algo similar ocurre con la humedad. Esto facilita la forma de homogeneizar las variables, aunque es necesario aclarar que se requiere de un mayor número de sensores distribuidos espacialmente dentro del SITE, para así lograr que los campos de temperatura y humedad sean estadísticamente más aceptables, y con los datos hacer posible la validación de sus modelos de distribución.

Palabras Clave: Temperatura, Humedad, Sensor, IoT, SITE

Abstract

The knowledge and control of the behavior of temperature and humidity inside a SITE or Data Center is an important topic when one needs to avoid the existence of risky situations in the SITE such as, for example, oxidations, overheating, or firing of devices or computers. Diverse organizations where computer equipment supports their services require the finding of solutions to these problems. A closed room called SITE or Data Center, inside the same organization, contains the computer devices. In this paper and at this stage of the research project, one makes experimental measures of humidity and temperature inside and outside of the SITE to acquire information about theoretical procedures modeling the temperature and humidity behaviors inside the Data Center, about how to get reliable data with experimental procedures, and about the IoT procedures to obtain a better understanding of the behavior of the variables and how this technology can help to acquire and control these variables. The experimental data acquisition through the Internet of Things technology, the statistical analysis of the obtained data to describe their reliability, and the study of the predictive and the control capability of an artificial neural network define the applied methodology. These characteristics look for techniques to homogenize temperatures and humidities inside the SITE. The obtained results are promising since, as shown here, there is a strong correlation between the temperatures in two different spatial points inside the SITE, where the temperatures are also functions of the time. A similar situation occurs with humidity. These facts make relatively simple the variable homogenization, although one needs to make clear that the experiment needs to use more sensors to get statistically acceptable fields of temperature and humidity so that to make possible the validation of their distribution models.

Keywords: Temperature, Humidity, Sensor, IoT, SITE

* Autor para correspondencia: jsuarez@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: f233161@uaeh.edu.mx (Juan Bertino Jiménez–Morales), jsuarez@uaeh.edu.mx (Joel Suárez–Cansino), virgilio@uaeh.edu.mx (Virgilio López–Morales), afranco@uaeh.edu.mx (Anilú Franco–Árcega).

Historial del manuscrito: recibido el 14/04/2022, última versión–revisada recibida el 29/06/2022, aceptado el 02/08/2022, publicado el 31/08/2022. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial3.9005>

