

**Diseñar un Sistema IoT para la detección de variaciones térmicas en salas de
servidores**

Marco Antonio Doncel Triana

Director

Jhon Manuel Soto Cala

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería – ECBTI

Ingeniería de Sistemas

2026

Dedicatoria

A todos esos seres queridos que depositaron una esperanza en mi y hoy no están para verlo alcanzado.

Resumen

La dependencia creciente de las organizaciones del sector salud en sus sistemas informáticos hace que la infraestructura tecnológica sea considerada crítica para la continuidad operativa y la calidad en la atención al paciente. En la Clínica Primavera de Villavicencio, la sala de servidores presenta vulnerabilidades asociadas a la ausencia de un sistema automatizado de monitoreo ambiental, lo que incrementa el riesgo de sobrecalentamiento, condensación y fallos técnicos que podrían comprometer la seguridad de los datos clínicos y la prestación de los servicios hospitalarios. Este problema plantea la necesidad de implementar soluciones innovadoras, sostenibles y de bajo costo que garanticen la supervisión constante de variables ambientales. El presente trabajo corresponde a un proyecto tecnológico-aplicado, cuyo objetivo principal es diseñar e implementar un sistema IoT para el monitoreo de temperatura y humedad en tiempo real, con capacidad de generar alertas tempranas mediante indicadores visuales y notificaciones instantáneas a través de plataformas de mensajería. La propuesta integra sensores DHT22 y un microcontrolador ESP32, conectados a un sistema de transmisión inalámbrica que procesa los datos de forma continua. La metodología se desarrolla en fases: análisis de requerimientos, diseño del prototipo, implementación en un entorno controlado, pruebas funcionales y validación mediante métricas de precisión, tiempo de respuesta y confiabilidad. Se aplican criterios de éxito definidos: precisión superior al 95 %, latencia máxima de tres segundos y tasa de falsos positivos menor al 5 %. Los resultados esperados son la reducción de riesgos operativos en la sala de servidores, la mejora en la continuidad del servicio institucional y el fortalecimiento de la seguridad digital de la clínica, contribuyendo a consolidar un modelo replicable en otros entornos tecnológicos similares.

Palabras claves: Monitoreo ambiental, Infraestructura tecnológica, Alertas tempranas, IoT y Gestión del riesgo operativo

Abstract

The increasing dependence of healthcare organizations on information systems has turned technological infrastructure into a critical element for operational continuity and patient care quality. At Clínica Primavera in Villavicencio, the server room shows vulnerabilities due to the absence of an automated environmental monitoring system. This condition heightens the risk of overheating, condensation, and technical failures that could compromise both clinical data security and the provision of hospital services. Such a problem highlights the need for innovative, sustainable, and low-cost solutions to ensure constant supervision of environmental variables. This research is an applied technological project, whose main objective is to design and implement an IoT system for real-time monitoring of temperature and humidity, capable of generating early alerts through visual indicators and instant messaging notifications. The proposal integrates DHT22 sensors and an ESP32 microcontroller, connected to a wireless transmission system that continuously processes environmental data. The methodology is structured in phases: requirements analysis, prototype design, implementation in a controlled environment, functional testing, and validation through metrics of accuracy, response time, and reliability. Success criteria are defined as: accuracy above 95%, maximum latency of three seconds, and a false-positive rate below 5%. The expected results include reducing operational risks in the server room, improving institutional service continuity, and strengthening the clinic's digital security. In addition, the project aims to establish a replicable model that can be applied in similar technological environments within the healthcare sector and beyond.

Keywords: Environmental monitoring, Technological infrastructure, Early warning systems, IoT y Operational risk management

Tabla de Contenido

Introducción	11
Justificación	13
Objetivos.....	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos	17
Planteamiento del Problema	18
Marco Teórico.....	25
Análisis Teórico	25
Gestión del Riesgo Operativo en Cuartos de Servidores Mediante Soluciones de Bajo.....	28
<i>Costo</i>	28
Análisis Conceptual	29
Monitoreo Ambiental.....	29
Internet de las Cosas (IoT).....	30
Alertas Tempranas	31
Infraestructura Tecnológica Crítica	31
Gestión del Riesgo Operativo.....	32
Bajo Costo y Sostenibilidad Tecnológica	32
Análisis Legal	33
Análisis Tecnológico.....	35
Tecnologías de Monitoreo de Temperatura.....	35
Monitoreo de Temperatura en Tiempo Real	36
Impacto del Monitoreo de Temperatura en la Eficiencia del Centro de Datos.....	36
Marco Metodológico	39
Muestra y Población del Proyecto	40
Instrumentos de Medición y Recolección de Datos	40
Instrumentos de Medición Automatizada	40
Instrumentos de Recolección de Opinión Técnica (Cuantitativa)	41
Instrumentos para Evaluación del Impacto Operativo.....	41
Técnicas de Recolección y Procesamiento de Datos	41
Análisis de Información.....	42

Fases de la Investigación	42
Fases de Desarrollo Bajo la Metodología Scrum	43
Diseño Estructurado e Integración de Componentes.....	43
Análisis de requisitos: procesos a automatizar, flujos de información y restricciones del entorno.....	43
Metodología de Desarrollo	44
Recursos.....	46
<i>Recursos</i>	46
Resultados Esperados	49
<i>Resultados Esperados</i>	49
Análisis de Requerimientos	50
Requerimientos Funcionales.....	50
Requerimientos No Funcionales.....	51
Diseño Integral del Sistema	52
Resultados Proceso Investigativo	54
Metodología de desarrollo del software	54
Lenguaje e IDE.....	55
Configuración de Compilación y Calidad	56
Gestión de Dependencias y Reproducibilidad.....	56
Estructura del Proyecto y Mantenibilidad	57
Descripción del Software como Producto Final	58
Resultados de Pruebas Funcionales y Operativas.....	59
<i>Resultados de pruebas funcionales y operativas</i>	61
Resultados de la Investigación	63
Conclusiones.....	69
Recomendaciones	71
Referencias Bibliográficas.....	72
Apéndices	77

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Causas y consecuencias del problema a nivel internacional</i>	21
Tabla 2 <i>Causas y consecuencias del problema a nivel nacional</i>	23
Tabla 3 <i>Recursos</i>	50
Tabla 4 <i>Resultados esperados</i>	62
Tabla 5 <i>Resultados de pruebas funcionales y operativas</i>	62
Tabla 6 <i>Pruebas de funcionamiento</i>	66

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Cronograma de actividades</i>	46
--	----

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Código</i>	78
Apéndice B <i>Imágenes</i>	85
Apéndice C <i>Consentimiento</i>	86

Introducción

En la era digital contemporánea, los centros de datos y los cuartos de servidores o “racks” constituyen infraestructuras tecnológicas críticas para organizaciones públicas y privadas, pues en ellos se concentran funciones esenciales como el procesamiento, el almacenamiento y la transmisión segura de información. La creciente dependencia de los sistemas digitales ha convertido estos espacios en nodos estratégicos para la operación continua de servicios, plataformas y procesos administrativos. En este escenario, garantizar condiciones ambientales estables, particularmente en lo relacionado con la temperatura y la humedad, no es solo un requisito técnico, sino una prioridad estratégica para prevenir fallas, proteger la integridad de los datos y asegurar la sostenibilidad operativa.

Diversos estudios y experiencias prácticas han demostrado que la exposición de los equipos electrónicos a condiciones extremas genera riesgos como sobrecalentamientos, cortocircuitos, pérdida de rendimiento, reducción en la vida útil de los dispositivos e incluso incendios. Estas situaciones no solo derivan en consecuencias económicas, sino que también representan amenazas críticas para la seguridad de la información y la continuidad de los servicios institucionales. Frente a tales desafíos, la adopción de tecnologías emergentes basadas en el Internet de las Cosas (IoT) adquiere relevancia al permitir el monitoreo en tiempo real de variables ambientales, la automatización de alertas y la respuesta inmediata ante situaciones anómalas.

En esta misma línea, investigaciones recientes como las de Shun y Yang (2020) proponen sistemas de sensores integrados con plataformas de gestión para recopilar y analizar datos ambientales, mientras que Fernández y López (2019) destacan la automatización del control climático en infraestructuras tecnológicas mediante notificaciones electrónicas. Asimismo,

Rodríguez y Sánchez (2021) subrayan el valor de las alertas visuales y de la mensajería instantánea como herramientas esenciales para garantizar intervenciones oportunas y eficaces.

Frente a esta realidad, el presente proyecto tiene como propósito diseñar e implementar un sistema automatizado de monitoreo ambiental para el control de temperatura y humedad en la sala de servidores de la Clínica Primavera, ubicada en Villavicencio, durante el año 2025. La solución integra sensores digitales, microcontroladores y plataformas de comunicación que permiten la activación de alertas visuales (luces LED verde y rojo) y el envío de notificaciones automáticas a través de WhatsApp cuando los parámetros críticos establecidos sean superados. El diseño se sustenta en principios de sostenibilidad tecnológica, bajo costo, escalabilidad y facilidad de mantenimiento.

La implementación de esta propuesta busca optimizar la gestión operativa de entornos tecnológicos críticos, disminuir el riesgo de fallos en los equipos, evitar interrupciones del servicio y proteger los activos informáticos de la institución. De este modo, contribuye al fortalecimiento de una infraestructura digital segura, eficiente y resiliente, capaz de responder a las demandas actuales del sector salud.

Justificación

El proyecto Thermo-Rack se justifica por la necesidad urgente de contar con sistemas automatizados que permitan una supervisión precisa y constante de las condiciones ambientales dentro de los cuartos de servidores, particularmente en contextos donde estos espacios son fundamentales para la operación institucional, como es el caso de la Clínica Primavera de Villavicencio. En la actualidad, el funcionamiento de cualquier sistema informático crítico incluyendo plataformas de gestión hospitalaria, historias clínicas digitales, archivos financieros y bases de datos administrativas depende directamente de la estabilidad térmica y la humedad controlada en los espacios físicos donde se aloja la infraestructura tecnológica. La ausencia de control ambiental automatizado expone a las organizaciones a riesgos altos de fallos en los equipos, interrupciones del servicio, pérdida de datos y deterioro prematuro de los dispositivos de almacenamiento, procesamiento y comunicaciones.

La monitorización en tiempo real no solo facilita una respuesta oportuna ante fluctuaciones críticas de temperatura o humedad, sino que también promueve prácticas preventivas de mantenimiento y cuidado de los activos tecnológicos, optimizando el rendimiento y la vida útil de los equipos. En este sentido, la solución propuesta basada en sensores IoT, microcontroladores, alertas visuales y mensajería instantánea permite gestionar de manera eficiente y automatizada los riesgos asociados al sobrecalentamiento o la condensación dentro del cuarto de servidores, sin necesidad de una vigilancia humana permanente. Esto representa un avance significativo frente a modelos tradicionales que dependen del monitoreo manual, el cual es menos confiable, más costoso en el largo plazo y limitado en capacidad de respuesta inmediata.

Del mismo modo, el desarrollo de este sistema responde a una demanda creciente de soluciones tecnológicas accesibles, escalables y sostenibles, características fundamentales para su aplicabilidad en instituciones pequeñas o medianas que no cuentan con grandes presupuestos para infraestructura digital. Según Northware (2022), uno de los principales retos en el desarrollo de aplicaciones tecnológicas radica en garantizar que los requerimientos funcionales se alineen con las necesidades reales del entorno operativo, lo que implica diseñar soluciones adaptadas al contexto físico, económico y humano donde se implementarán. Thermo-Rack cumple con esta condición al proponer una arquitectura modular, de bajo costo, fácil instalación y mantenimiento autónomo, ajustada a las capacidades de personal técnico local y con potencial de adaptación a diversos entornos.

Por otra parte, este proyecto no solo tiene una implicación técnica, sino también organizacional y ambiental. Desde el punto de vista institucional, fortalece las capacidades de respuesta de la Clínica Primavera ante eventos inesperados, promoviendo la continuidad del servicio, la seguridad de los datos clínicos y la confianza de los usuarios. En entornos hospitalarios, donde cada segundo cuenta y la información médica es sensible, la interrupción de los sistemas puede representar riesgos graves para la atención al paciente. Así, el sistema Thermo-Rack actúa como una herramienta estratégica para mitigar impactos operativos y económicos derivados de fallas técnicas evitables.

Desde el enfoque ambiental, la gestión eficiente de la temperatura y la humedad en espacios tecnológicos también tiene un impacto en el consumo energético y la sostenibilidad operativa. Sistemas de refrigeración utilizados en centros de datos son, en muchos casos, los mayores responsables del consumo eléctrico en instituciones tecnológicas. Según Grisales Vargas (2020), las acciones de mitigación frente al cambio climático deben integrar soluciones prácticas

de eficiencia energética en sectores clave, incluyendo el uso racional de tecnologías de enfriamiento y monitoreo ambiental. En este marco, Thermo-Rack puede contribuir al uso más inteligente de los sistemas de aire acondicionado, activándolos únicamente cuando se detecten condiciones críticas y no de forma continua, lo que reduce el gasto eléctrico y las emisiones de contaminantes climáticos de vida corta.

Asimismo, el enfoque de desarrollo de este proyecto se alinea con metodologías de investigación mixta y aplicada, permitiendo combinar la experimentación técnica con la recolección de percepciones de los usuarios para validar su utilidad en contextos reales (Ortega, 2023). De esta manera, no solo se genera un producto funcional, sino también conocimiento replicable que puede ser transferido a otras instituciones del sector salud o educativo que enfrentan problemas similares. El impacto social y técnico del proyecto, por tanto, se extiende más allá del espacio físico del cuarto de servidores, generando valor agregado en los procesos de formación, innovación y sostenibilidad institucional.

Por último, no puede ignorarse que el diseño e implementación de Thermo-Rack se enmarca en una lógica de territorialización tecnológica, en la cual los sistemas desarrollados responden a las condiciones geográficas y climáticas específicas del lugar de aplicación. Tal como señalan Prada, Demoraes y Sáenz Acosta (2024), cualquier proyecto de innovación debe tener en cuenta las realidades ambientales, sociales y económicas del entorno, especialmente en regiones periféricas que históricamente han sido excluidas de procesos de modernización digital. Villavicencio, con sus características de alta humedad y temperaturas elevadas durante gran parte del año, representa un escenario ideal para validar esta solución, generando además conocimiento contextualizado que pueda servir de base para políticas institucionales o sectoriales sobre sostenibilidad tecnológica en entornos críticos.

Finalmente, el proyecto Thermo-Rack se justifica técnica, operativa, económica, ambiental y éticamente, representando una solución innovadora, sostenible y adaptable, que responde de manera directa a una necesidad real y crítica de la Clínica Primavera, y cuyo impacto puede ser escalado a otros entornos institucionales del país con condiciones similares.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema IoT automatizado y de bajo costo para el monitoreo en tiempo real de temperatura y humedad en la sala de servidores de la Clínica Primavera de Villavicencio.

Objetivos Específicos

Diagnosticar las condiciones ambientales actuales de la sala de servidores de la Clínica Primavera, identificando los riesgos asociados a variaciones de temperatura y humedad.

Seleccionar sensores y microcontroladores IoT adecuados para el monitoreo ambiental, evaluando su precisión, rango operativo y aplicabilidad en el contexto local.

Desarrollar un prototipo funcional que integre sensores, microcontroladores y una plataforma de notificación automatizada para generar alertas visuales y digitales en tiempo real.

Implementar el sistema propuesto mediante pruebas controladas en la Clínica Primavera, midiendo su eficacia en términos de precisión, tiempo de respuesta y confiabilidad operativa.

Planteamiento del Problema

En el contexto de la transformación digital global, los centros de datos y cuartos de servidores se han convertido en infraestructuras críticas para el funcionamiento de organizaciones públicas y privadas. Su relevancia radica en la necesidad creciente de procesar, almacenar y proteger grandes volúmenes de datos, cuya integridad y disponibilidad son fundamentales para la operatividad de los sistemas de información. Sin embargo, el crecimiento acelerado de estas infraestructuras no ha sido acompañado de estrategias robustas de monitoreo ambiental, lo que expone a las organizaciones a riesgos técnicos significativos por fallas derivadas de variables como la temperatura y la humedad.

A escala global, el sobrecalentamiento en centros de datos es una preocupación constante. La falta de sistemas de alerta temprana y monitoreo ambiental contribuye a interrupciones de servicio, pérdida de datos, disminución de la vida útil de los equipos y, en casos extremos, incendios o explosiones. El auge del Internet de las Cosas (IoT) ha permitido soluciones emergentes para estos entornos, sin embargo, muchas organizaciones, especialmente en países en desarrollo, siguen operando sin tecnologías de control ambiental eficientes (Butler et al., 2016).

Estudios recientes en el ámbito urbano e institucional destacan la necesidad de mejorar las condiciones ambientales para garantizar la sostenibilidad de los espacios que dependen de componentes digitales. Barros Carvalho Macedo et al. (2022) señalan que los entornos físicos mal gestionados afectan directamente el funcionamiento técnico y humano, como ocurre en centros de movilidad y también en infraestructuras digitales. Por su parte, De Lourdes Vázquez-Arango y Ramírez-Castillo (2023) subrayan que los cambios tecnológicos deben ir acompañados de innovaciones organizacionales para asegurar el éxito en la implementación, particularmente en sistemas públicos o con funciones críticas.

A pesar de la disponibilidad de herramientas como sensores inteligentes, plataformas geoespaciales y software de monitoreo (Agafonkin, 2024), muchos centros de datos aún dependen de prácticas manuales o monitoreo visual, sin protocolos de respuesta automatizados. Esta brecha tecnológica refleja no solo un rezago técnico, sino una desarticulación entre la infraestructura física y la lógica digital, lo que compromete la seguridad de los datos y la continuidad de los servicios digitales (García Vallejo & García Vallejo, 2024).

Tabla 1*Causas y consecuencias del problema a nivel internacional*

Causas	Consecuencias
Falta de automatización y uso limitado de IoT en sistemas de monitoreo	Fallas críticas en servidores, pérdida de datos e interrupciones del servicio
Elevado consumo energético sin control ambiental eficiente	Costos operativos elevados y aumento de huella de carbono
Ausencia de normativas universales aplicadas sobre monitoreo ambiental	Diversidad de estándares que dificulta la implementación global
Inadecuada capacitación del personal en infraestructuras TIC	Respuestas lentas ante eventos críticos y gestión de mayor tiempo de inactividad
Dependencia de infraestructura tecnológica en entornos sin mantenimiento	Vulnerabilidad frente a eventos térmicos extremos e incendios

Nota. Causas y Consecuencias de no contar con un sistema de detección de fallos en escenarios internacionales

En Colombia, la transformación digital en el sector salud, educativo y empresarial avanza a un ritmo desigual. Mientras algunas ciudades y empresas han avanzado en la implementación de soluciones tecnológicas robustas, otras aún presentan serias limitaciones en infraestructura, mantenimiento y monitoreo. En particular, los cuartos de servidores de muchas instituciones no cuentan con sistemas que permitan conocer y gestionar el estado ambiental en tiempo real.

El caso de ciudades intermedias como Neiva, donde el colapso del transporte urbano fue en parte atribuido a la falta de tecnologías de monitoreo y planificación adecuada, evidencia una debilidad estructural en la gestión de entornos físicos complejos y tecnificados (López, 2025). Esta situación también se refleja en el manejo de infraestructura tecnológica crítica como los centros de datos. Muchas instituciones siguen gestionando sus cuartos de servidores sin sensores de temperatura o humedad, o con sistemas manuales que no permiten respuestas automatizadas, lo cual representa un riesgo para la operación y los datos que allí se alojan.

Del mismo modo, en Colombia persisten desafíos importantes relacionados con el acceso a tecnologías de bajo costo, el mantenimiento técnico especializado y la integración de soluciones inteligentes en entornos que históricamente han carecido de inversión en modernización digital (García Vallejo & García Vallejo, 2024). Si bien existen marcos legales y normativos sobre ciberseguridad y protección de datos, el control del ambiente físico que aloja dichos sistemas aún es limitado.

Tabla 2*Causas y consecuencias del problema a nivel nacional*

Causas	Consecuencias
Desigual acceso a tecnologías de monitoreo y automatización	Riesgo elevado de fallas en servidores de hospitales, universidades y entidades públicas
Falta de políticas estandarizadas sobre condiciones ambientales TIC	Ambientes inseguros para los equipos tecnológicos
Inversión limitada en mantenimiento preventivo	Costos mayores en mantenimientos correctivos, mayor deterioro del hardware
Escasa capacitación en monitoreo digital en tiempo real	Respuesta ineficiente ante situaciones de sobrecalentamiento
Uso de dispositivos sin gestión ambiental integrada	Ambientes de trabajo hostiles para servidores y pérdida de datos en sistemas hospitalarios y educativos

Nota. Causas y Consecuencias de la falta de un sistema de detección de fallos en diferentes ámbitos y escenario.

Villavicencio, como ciudad intermedia de rápido crecimiento y nodo de conectividad regional en Colombia, presenta avances en infraestructura digital, pero también limitaciones significativas en el mantenimiento de espacios críticos como centros de datos. Muchas clínicas, instituciones educativas y empresas utilizan servidores propios sin mecanismos de supervisión ambiental automatizada.

El crecimiento de la demanda de servicios digitales en sectores como salud y educación ha llevado a una sobrecarga de los sistemas actuales, que en muchos casos carecen de soluciones como Thermo-Rack. Las condiciones climáticas propias de la región caracterizadas por humedad relativa alta y temperaturas elevadas aumentan el riesgo de fallas en los equipos electrónicos cuando no se cuenta con sistemas de monitoreo y alerta adecuados.

Pese a la existencia de soluciones tecnológicas accesibles y de bajo costo, como sensores integrados y microcontroladores de uso libre, estas no han sido implementadas de manera masiva en Villavicencio, lo cual genera una vulnerabilidad operativa y administrativa en las entidades que dependen de servidores locales. Esta situación evidencia la necesidad urgente de implementar soluciones tecnológicas adaptadas al contexto regional.

En este orden de ideas, la Clínica Primavera, ubicada en Villavicencio, presta servicios médicos de alta complejidad, apoyada en sistemas de información para el registro, consulta y gestión de datos clínicos. Sin embargo, el cuarto de servidores de la institución no cuenta actualmente con un sistema automatizado de monitoreo ambiental, lo que la expone a riesgos operacionales relevantes.

Las variaciones extremas de temperatura y humedad en la sala de servidores han generado eventos de alarma no controlados, pérdidas temporales de conectividad y deterioro progresivo de los equipos. Esta situación es crítica, considerando que gran parte de la

información médica depende de la disponibilidad de servicios digitales ininterrumpidos. La inexistencia de un sistema como Thermo-Rack compromete no solo el funcionamiento del sistema hospitalario interno, sino también la protección de datos sensibles de los pacientes, en un entorno que debería garantizar altos estándares de fiabilidad tecnológica y continuidad del servicio. Así, se hace evidente la necesidad de un sistema de monitoreo y alerta que asegure condiciones ambientales óptimas, permita acciones correctivas inmediatas, y minimice los riesgos para la atención en salud.

Marco Teórico

Análisis Teórico

El presente análisis teórico se orienta a la comprensión y contextualización de los conceptos que sostienen el desarrollo del sistema propuesto, articulando fundamentos para abordar el monitoreo ambiental en espacios tecnológicos críticos. Primero, se abordan los fundamentos del monitoreo ambiental en infraestructura TI, que permiten precisar por qué temperatura y humedad deben mantenerse dentro de rangos recomendados para asegurar disponibilidad y continuidad de servicio (ASHRAE, 2021). Luego, se analizan las tecnologías IoT y su papel en la automatización y en la alerta temprana de condiciones anómalas, con énfasis en soluciones de bajo costo y alta eficiencia (Narayana et al., 2024; Hercog et al., 2023). Finalmente, se examina la gestión del riesgo operativo en salas de servidores, destacando la pertinencia de métricas de desempeño (precisión, latencia y falsos positivos) y su alineación con marcos de seguridad y continuidad (ISO/IEC, 2022). Este marco ofrece insumos para fundamentar la propuesta y su aplicabilidad en la Clínica Primavera.

Fundamentos Teóricos del Monitoreo Ambiental en Infraestructura Tecnológica Crítica

El monitoreo ambiental en infraestructura tecnológica crítica es un eje de gestión preventiva para garantizar estabilidad, disponibilidad y continuidad del servicio. En salas de servidores, el control de temperatura y humedad se vincula con la vida útil de componentes, la confiabilidad y la eficiencia energética; por ello, guías técnicas recomiendan operar en rangos definidos y limitar tasas de cambio térmico para evitar estrés de materiales y fallas (ASHRAE, 2021).

Desde una perspectiva de contexto y operación, la masificación de servicios digitales ha elevado la dependencia de plataformas TI y, por tanto, la sensibilidad ante desviaciones

ambientales. Mantener condiciones recomendadas vs. permitidas (recommended vs. allowable) reduce la probabilidad de incidentes y sustenta decisiones de diseño, ventilación y distribución de equipos en sala (Demetriou, 2025).

El monitoreo ambiental no es solo control técnico: es gestión del riesgo. Superar umbrales de temperatura/humedad incrementa la probabilidad de fallos en discos, fuentes y tarjetas; en instituciones de salud, esto se traduce en riesgos para la continuidad del servicio y la integridad de datos clínicos. Por ello, los sistemas deben combinar medición confiable con notificaciones oportunas y trazabilidad de eventos (ISO/IEC, 2022).

En clave de servicio y calidad, los entornos educativos y sanitarios dependen de plataformas estables. Un monitoreo continuo con umbrales e histéresis disminuye alarmas espurias y permite intervenir antes del punto crítico, mejorando la experiencia del usuario final y la operación institucional (Narayana et al., 2024).

De forma integradora, la evidencia reciente muestra que la sensórica IoT y el análisis en tiempo real favorecen decisiones basadas en datos para el ambiente interior (temperatura/humedad) y su relación con eficiencia y seguridad (Franco et al., 2024). Esto sustenta modelos de vigilancia ambiental que combinan costo-efectividad y replicabilidad.

En suma, los fundamentos del monitoreo ambiental conectan tecnología, entorno físico y servicio: prevenir fallas, proteger la inversión y sostener condiciones óptimas requiere medición continua, criterios de alerta claros y alineación con estándares internacionales como ASHRAE e ISO/IEC 27001, especialmente en contextos de clínica donde la continuidad y la seguridad son críticas.

Tecnologías IoT y Sistemas de Alerta Temprana para el Control de Temperatura y Humedad

El avance de IoT ha transformado la gestión de infraestructuras críticas al habilitar captura continua, procesamiento y respuesta ante anomalías ambientales. En salas de servidores, arquitecturas con sensores conectados, microcontroladores y plataformas de notificación implementan alerta temprana y reducción de tiempos de respuesta ante eventos térmicos o de humedad (IRJMETS, 2025).

Más allá de la conectividad, IoT promueve ambientes inteligentes con decisiones basadas en datos. El análisis en tiempo real de variables físicas soporta notificaciones visuales y digitales (mensajería), útiles para advertir fallas de climatización o amenazas al hardware, disminuyendo interrupciones y mejorando MTTR (mean time to repair) (Narayana et al., 2024).

La literatura reciente documenta diseños de bajo costo con ESP32 y sensores como DHT22 para monitoreo ambiental robusto; estos sistemas demuestran viabilidad técnica y precisión adecuada para usos operativos, con transmisión Wi-Fi y paneles de visualización (Harianto et al., 2025; Hercog et al., 2023).

En paralelo, estudios aplicados confirman que la instrumentación IoT mejora la detección temprana de riesgos y la eficiencia operativa en distintos dominios, reforzando el valor de pipelines que integran adquisición, procesamiento y alerta en tiempo real (Othman et al., 2024). Este enfoque contribuye, además, al aprendizaje organizacional: el despliegue de soluciones IoT fortalece competencias del personal técnico en automatización, analítica y gestión del riesgo digital, habilitando operación y mantenimiento in situ con recursos limitados (Hercog et al., 2023).

En conclusión, IoT y la alerta temprana sustentan una estrategia innovadora y

pertinente para asegurar la continuidad en infraestructuras tecnológicas críticas. Por su costoefectividad y escalabilidad, estas soluciones son idóneas para entidades pequeñas y medianas del sector salud, educación y administración, y resultan replicables con mínimos ajustes contextuales (IRJMETS, 2025; Narayana et al., 2024).

Gestión del Riesgo Operativo en Cuartos de Servidores Mediante Soluciones de Bajo

Costo

La gestión del riesgo operativo en salas de servidores exige identificar amenazas ambientales y definir controles que aseguren continuidad, integridad y disponibilidad. En contextos con presupuesto limitado, la prioridad es minimizar vulnerabilidad sin comprometer sostenibilidad financiera, apoyándose en monitoreo continuo y umbrales alineados a mejores prácticas (ASHRAE, 2021).

Instituciones de salud y educación enfrentan retos adicionales por restricciones de recursos y alta criticidad del servicio. Aquí, seleccionar componentes accesibles y fáciles de mantener es clave: puntos de muestreo adecuados, cableado ordenado y transmisión confiable reducen incidentes y costos de ciclo de vida (Franco et al., 2024). Las plataformas abiertas con ESP32 + DHT22 permiten recolectar datos, activar alertas en tiempo real

(LED/mensajería) y ejecutar protocolos de respuesta inmediata, demostrando una relación favorable costo–beneficio y precisión suficiente para operación (IRJMETS, 2025; Harianto et al., 2025).

Este enfoque, además, habilita procesos de formación técnica: la implementación, pruebas y análisis del sistema fortalecen capacidades del equipo en automatización, telemetría y gestión de eventos, con impacto directo en tiempos de respuesta y resiliencia operativa (Narayana et al., 2024). Un beneficio adicional es la autonomía tecnológica: al depender menos

de soluciones propietarias costosas, las instituciones pueden adaptar y escalar el sistema, mejorar mantenimiento preventivo y reducir gastos por fallas ambientales, mientras alinean controles con ISO/IEC 27001:2022 en seguridad física y ambiental (ISO/IEC, 2022).

En conclusión, gestionar el riesgo operativo con soluciones de bajo costo es viable y recomendable: sistemas funcionales, escalables y mantenibles que monitorean temperatura y humedad anticipan fallas, protegen la infraestructura y fortalecen competencias internas, integrando dimensiones técnicas, organizacionales y de seguridad (ASHRAE, 2021; ISO/IEC, 2022).

Análisis Conceptual

Este análisis conceptual ordena los pilares que sostienen el proyecto: (a) por qué es clave monitorear el ambiente en infraestructura crítica, (b) cómo el IoT habilita la automatización y la alerta temprana, y (c) de qué manera esto se articula con gestión de riesgo y bajo costo/sostenibilidad en contextos reales como una clínica. Partimos del monitoreo ambiental y su vínculo con la continuidad del servicio, avanzamos hacia la arquitectura IoT que hace viable la medición y notificación en tiempo real y cerramos con criterios de operación responsable (métricas y normas) y viabilidad (coste–beneficio, escalabilidad). Este encuadre garantiza coherencia entre conceptos, diseño y uso en la Clínica Primavera.

Monitoreo Ambiental

El monitoreo ambiental asegura el control permanente de variables como temperatura y humedad en espacios cerrados (racks y salas técnicas), variables que inciden directamente en estabilidad, vida útil y continuidad de los sistemas. Mantenerlas dentro de rangos recomendados reduce fallos costosos y optimiza el rendimiento del hardware, con impacto directo en los

procesos institucionales que dependen de TI. En data centers y cuartos de servidores, esta práctica está alineada con guías técnicas ampliamente adoptadas.

En contextos con recursos humanos limitados, integrar sensores y registro continuo permite medición, análisis y respuesta automatizada ante condiciones críticas. La evidencia reciente muestra que, cuando el monitoreo se integra al flujo operativo (visualización + notificación), disminuyen los tiempos de reacción y se favorece la continuidad del servicio.

Es, en esencia, una medida de eficiencia operativa además de técnica.

Finalmente, el monitoreo consolida una cultura preventiva que habilita planes de contingencia más efectivos y una operación sostenible en instituciones educativas y de salud. No es un accesorio, sino un componente estratégico para proteger activos digitales y procesos misionales donde la disponibilidad es crítica.

Internet de las Cosas (IoT)

El IoT integra objetos físicos a redes digitales para capturar, procesar y transmitir datos en tiempo real sin intervención constante del operador. En infraestructura tecnológica, el IoT ha transformado el monitoreo ambiental, la automatización de mantenimientos y las alertas tempranas, habilitando decisiones basadas en datos en servicios críticos como salud y educación.

Su arquitectura combina sensores, microcontroladores (p. ej., ESP32) y plataformas de comunicación que detectan anomalías y ejecutan acciones inmediatas (paneles de control y mensajería). Estudios recientes documentan prototipos de bajo costo con DHT22+ESP32, conectividad Wi-Fi y precisión suficiente para operación, demostrando viabilidad técnica y facilidad de despliegue.

Desde la perspectiva institucional, estas soluciones favorecen el aprendizaje organizacional: el equipo técnico desarrolla competencias en automatización y análisis, mientras

la organización gana en trazabilidad y respuesta oportuna. Así, el IoT no solo “mide”, también ordena la acción ante el riesgo ambiental.

Alertas Tempranas

Las alertas tempranas son el puente entre la medición y la acción. Mediante umbrales definidos y reglas simples (p. ej., persistencia + histéresis), el sistema identifica cuando temperatura o humedad salen del rango y dispara señales visuales y notificaciones digitales (WhatsApp/correo), activando protocolos de intervención. En infraestructuras críticas, esta anticipación es clave para evitar daños y reducir el tiempo de recuperación.

En entornos con equipos y personal limitados, las alertas reducen la dependencia de la vigilancia presencial y mejoran la capacidad de reacción a distancia. La literatura muestra que la combinación de captura continua, reglas claras y mensajería inmediata incrementa la resiliencia operativa con inversiones moderadas. Además, estas alertas se integran a plataformas cotidianas de comunicación, lo que democratiza el monitoreo: el personal recibe avisos en su dispositivo móvil y responde de forma informada. Es una vía práctica para sostener vigilancia descentralizada y eficiente.

Infraestructura Tecnológica Crítica

La infraestructura tecnológica crítica reúne servidores, almacenamiento, redes y sistemas de respaldo que soportan servicios esenciales. Su falla puede interrumpir procesos clínicos, académicos o administrativos y generar pérdidas técnicas y humanas. Por ello, su operación requiere condiciones ambientales estables, mantenimiento preventivo y monitoreo permanente.

En espacios reducidos (racks y salas técnicas), pequeñas desviaciones térmicas o de humedad pueden escalar a incidentes. Las guías de ASHRAE distinguen entre zonas recomendadas y permitidas, orientando decisiones de ubicación de sensores, ventilación y límites

de operación para preservar la continuidad. En clave institucional, fortalecer infraestructura crítica implica también formación y uso seguro de la tecnología:

procedimientos claros, registros y responsabilidades compartidas. Así, el componente técnico se alinea con prácticas organizacionales que sostienen la calidad del servicio.

Gestión del Riesgo Operativo

La gestión del riesgo operativo identifica, analiza y mitiga eventos que afectan la continuidad (ambientales, eléctricos o de red). En TI, esto se traduce en monitoreo continuo, métricas de desempeño (precisión, latencia, falsos positivos) y trazabilidad de eventos, en coherencia con marcos de seguridad y continuidad.

Una gestión eficaz combina protocolos de acción, herramientas tecnológicas y capacitación continua, reduciendo exposición al daño y mejorando la recuperación. Al integrar IoT y alertas, la organización acorta tiempos de respuesta y documenta decisiones para auditorías y mejora continua. En escenarios con recursos limitados, soluciones de bajo costo orientadas a monitoreo y alerta temprana ofrecen una relación costo–beneficio favorable, protegiendo el capital digital y la confianza del usuario sin sacrificar estándares básicos de seguridad.

Bajo Costo y Sostenibilidad Tecnológica

“Bajo costo” no equivale a baja calidad: refiere a diseños funcionales, escalables y mantenibles con costo inicial y operativo contenidos. Elegir hardware abierto, componentes reutilizables y módulos estándar permite responder a necesidades reales sin licencias onerosas ni dependencias de un único proveedor.

La sostenibilidad incorpora operación local, actualizaciones simples y consumo energético moderado. En monitoreo ambiental, configuraciones ESP32 + DHT22 muestran estabilidad, precisión adecuada y conectividad integrada, lo que habilita despliegues replicables

en clínicas y escuelas. Este enfoque reduce costos de mantenimiento, empodera al equipo interno y minimiza el impacto ambiental, a la vez que cumple con prácticas y lineamientos del sector (p. ej., seguridad de la información y continuidad), equilibrando pertinencia técnica y viabilidad económica.

Análisis Legal

El desarrollo del proyecto Thermo-Rack, centrado en la implementación de un sistema automatizado de monitoreo ambiental en un cuarto de servidores, se encuentra enmarcado en un conjunto de normativas legales tanto a nivel internacional como nacional, que regulan la seguridad de la información, la protección de datos, el uso responsable de las tecnologías, y la infraestructura crítica digital.

A nivel internacional, uno de los marcos más relevantes es la ISO/IEC 27001:2022, que establece los requisitos para la implementación de un sistema de gestión de seguridad de la información (SGSI). Esta norma resalta la importancia de proteger la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información, lo cual solo es posible mediante el control ambiental de los espacios donde se alojan los servidores que la procesan. En esta línea, el estándar establece que deben existir controles físicos y ambientales, tales como el monitoreo continuo de temperatura y humedad, la detección de incendios y la protección contra fallas de energía, como parte integral de la gestión de riesgos tecnológicos (ISO/IEC, 2022).

Complementariamente, la norma TIA-942-A, publicada por la Telecommunications Industry Association, define las mejores prácticas para el diseño y operación de centros de datos. Esta establece que todos los espacios que alojen servidores deben contar con sistemas de monitoreo ambiental automatizados, capaces de generar alertas en tiempo real, con el fin de garantizar la continuidad del servicio y evitar pérdidas operacionales. También sugiere medidas

como la segmentación de zonas térmicas, el monitoreo remoto y la integración de sensores IoT como parte del diseño moderno de estos entornos tecnológicos (TIA, 2020).

A nivel nacional, en Colombia, el marco legal que ampara el desarrollo e implementación de este tipo de soluciones comienza con la Ley 1341 de 2009, modificada por la Ley 1978 de 2019, la cual regula el acceso y uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones. Esta normativa promueve la masificación del uso de las TIC como herramienta para el mejoramiento de la calidad de vida, la competitividad y la innovación, incentivando el uso de soluciones tecnológicas aplicadas a diferentes sectores, como la salud, la educación y la gestión institucional.

De igual manera, la Ley 1581 de 2012 establece las disposiciones generales para la protección de los datos personales en Colombia. Esta norma es especialmente relevante, ya que obliga a las organizaciones a garantizar la seguridad física y lógica de los datos que manejan, lo que incluye la necesidad de mantener condiciones adecuadas en los espacios donde se almacenan los servidores. Así, los sistemas de monitoreo como Thermo-Rack no solo contribuyen a la operación técnica, sino también al cumplimiento normativo en cuanto a la protección de datos sensibles de usuarios, pacientes o clientes.

Por su parte, el Decreto 1078 de 2015, que compila las normas del sector TIC, establece que las entidades públicas y privadas deben implementar planes de gestión del riesgo en la infraestructura tecnológica, incluyendo acciones preventivas frente a posibles eventos ambientales, eléctricos o técnicos que puedan afectar la operación continua de los servicios digitales. En este sentido, la existencia de un sistema que controle en tiempo real la temperatura y la humedad del cuarto de servidores se alinea con las políticas de continuidad del negocio y

ciberseguridad que el Estado colombiano ha promovido en el marco de la Estrategia Nacional Digital.

Adicionalmente, el Estatuto del Consumidor (Ley 1480 de 2011), aunque más orientado a las relaciones de consumo, establece obligaciones sobre calidad, funcionamiento, garantía y seguridad de los bienes y servicios, aplicables también al desarrollo de sistemas tecnológicos. Este proyecto, al contemplar principios como la fiabilidad, el bajo costo y la fácil implementación, busca cumplir con estos estándares en beneficio de sus usuarios institucionales, como lo sería en este caso el personal de soporte técnico de la Clínica Primavera.

Finalmente, el proyecto Thermo-Rack se sustenta en un marco legal amplio que refuerza la necesidad de soluciones técnicas preventivas para proteger los activos digitales, garantizar la operación continua, prevenir pérdidas de información, y asegurar condiciones físicas óptimas para la infraestructura tecnológica. Tanto las normativas internacionales como las nacionales coinciden en la necesidad de vincular el desarrollo tecnológico con una gestión responsable, segura y legalmente estructurada, fortaleciendo la cultura del monitoreo automatizado como parte de la gobernanza digital en el país.

Análisis Tecnológico

Tecnologías de Monitoreo de Temperatura

Los Sensores de Temperatura son pequeños aparatos electrónicos, de los cuales existen varios tipos utilizados en distintas aplicaciones, los más comunes son:

Los sensores de estado sólido también conocidos como los termistores y sensores semiconductores, utilizan materiales cuya resistencia cambia en base a los cambios en la temperatura, al ser compactos suelen ser muy rápidos y poseen buena precisión, en rangos

moderados funcionan muy bien, aunque son sensibles a las interferencias electromagnéticas, aunque se emplean constantemente en aparatos electrónicos como tabletas o laptops.

Los termopares consisten en dos metales diferentes unidos en un mismo extremo. Los cuales cuando se calientan, se genera un pequeño voltaje (electrónico DC) que puede correlacionarse con la temperatura, son los más económicos, y a su vez robustos, adecuados para detectar temperaturas en rangos o valores muy altos + 200 grados celsius.

Los Sistemas de Alerta y Monitoreo son fundamentales a la hora de soportar los racks de servidores para prevenir fallos en los servidores y otros equipos electrónicos debido al sobrecalentamiento. Estos sistemas permiten detectar cambios en la temperatura y activar alertas antes de que se produzcan daños significativos. Los sistemas más comunes de encontrar son:

Monitoreo de Temperatura en Tiempo Real

Los sistemas de monitoreo en tiempo real permiten el seguimiento de cerca, muy preciso y constante de la temperatura de los cuartos de servidores o equipos. Estos sistemas están diseñados principalmente para medir la temperatura a intervalos regulares, e ir transmitiendo los datos a una unidad de control o centralita. Los sensores de temperatura (termistores y termopares) son conectados al receptor de datos que a su vez envía la información a un servidor, Y mediante una interfaz de usuario o una aplicación en la nube se gestiona la información. El monitoreo continuo ofrece que cualquier incremento inesperado de la temperatura sea detectado de inmediato, lo que permite a su vez tomar medidas antes de que ocurra un fallo.

Impacto del Monitoreo de Temperatura en la Eficiencia del Centro de Datos

El monitoreo de tiempo real de la temperatura juega un papel importante en la mejora de la eficiencia energética de los cuartos de servidores, ya que esto permite gestionar de manera más rápida y efectiva los sistemas de refrigeración de estos cuartos. Los centros de datos son bien

conocidos por el gran consumo de energía, y la refrigeración es uno de los mayores consumidores de electricidad en este entorno.

Optimización del Uso de la Refrigeración el monitoreo en tiempo real de la temperatura de los servidores y el entorno permite ajustar de manera más dinámica y eficiente los sistemas de refrigeración. Dado que cuando las temperaturas son más altas de lo esperado, los sistemas de refrigeración pueden activarse o intensificarse de inmediato, mientras que, cuando la temperatura es baja, los sistemas pueden reducir su funcionamiento y así ahorrar energía; Esto se puede implementar junto con distintas estrategias como la reevaluación dinámica de las zonas frías y/o calientes al interior del cuarto de servidores del centro de datos. Con este monitoreo, se puede dirigir la refrigeración sólo a áreas específicas que necesitan más enfriamiento o un enfriamiento enfocado, evitando un gasto innecesario en otras áreas menos críticas (Sweeney & Leach, 2017).

El Uso de Aires Acondicionados y Ventiladores de Forma Más Eficiente los sistemas de refrigeración, como los aires acondicionados de precisión o los ventiladores en los racks de servidores, pueden ser ajustados para operar solo cuando es necesario, dependiendo de los datos obtenidos con el sistema. El monitoreo permite la modulación de la velocidad de los ventiladores o aires acondicionados en función de la temperatura actual, lo que puede reducir significativamente el consumo de energía (Sharma et al., 2019).

Control de la Temperatura de Entrada del Aire en muchos cuartos de servidores se implementan técnicas de recirculación o reciclaje de aire o también la utilización de aire exterior o más llamado aire libre cuando la temperatura del ambiente donde se esté lo permite. Al medir la temperatura en tiempo real deja que los sistemas decidan cuándo abrir las compuertas o rejillas mediante sistema automáticos, para permitir la entrada de aire frío desde el exterior, reduciendo la necesidad de utilizar el aire acondicionado en todo momento. El Ahorro Energético según

investigaciones, el uso del aire libre puede reducir hasta un 30% los costos de refrigeración en centros de datos (Green, 2016).

Marco Metodológico

El proyecto se enmarca en un paradigma empírico-analítico con enfoque cuantitativo, orientado a observar y medir de forma objetiva el desempeño de un sistema tecnológico en condiciones reales. Se prioriza la validez interna mediante definición de variables, protocolos de prueba y criterios de éxito verificables. El sistema de monitoreo (temperatura-humedad) se somete a pruebas controladas in situ en la Clínica Primavera, buscando evidencia reproducible sobre su precisión, latencia y confiabilidad. Este encuadre es idóneo para proyectos tecnológico-aplicados cuyo propósito es demostrar la funcionalidad y eficacia de un prototipo.

Desde el enfoque cuantitativo, se formulan hipótesis operativas y se miden variables: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%), latencia extrema a extremo (sensor→alerta, s), tasa de falsos positivos/negativos (%), disponibilidad del sistema (%) y eventos térmicos prevenidos (n). Se emplean registros automáticos y análisis descriptivo-comparativo (pre/post) para estimar impacto sobre continuidad operativa y reducción de riesgo. Los resultados se comparan con criterios de éxito predefinidos (precisión ≥ 95 %, latencia ≤ 3 s, falsos positivos ≤ 5 %), justificando la pertinencia de una solución de bajo costo y alto impacto.

El alcance es aplicado (resuelve una necesidad concreta: monitoreo/alerta en una sala de servidores) y explicativo (examina relaciones entre desviaciones ambientales y fallas potenciales; y cómo la incorporación del sistema mejora la prevención y tiempo de respuesta). La explicación se soporta en métricas de desempeño, trazabilidad de eventos y comparación frente a línea base.

El diseño es cuasiexperimental: se manipulan condiciones ambientales simuladas y controladas (p. ej., subida gradual de temperatura) sin aleatorización completa, manteniendo monitoreo sistemático. Se fijan umbrales críticos y reglas de persistencia/histéresis para activar alertas; se mide eficacia (detección oportuna), eficiencia (latencia) y confiabilidad (repetibilidad

de lecturas). Este diseño permite evaluar el cumplimiento de objetivos técnicos y la transferibilidad del sistema a entornos similares.

Muestra y Población del Proyecto

La unidad de análisis es la sala de servidores de la Clínica Primavera (racks activos, equipos de telecomunicaciones y climatización). Se selecciona por conveniencia y pertinencia técnica, al representar condiciones reales de operación y riesgo ambiental. La sala funciona como unidad experimental controlada para observar el comportamiento del sistema ante variaciones térmicas y de humedad. La instalación del prototipo permite registrar datos continuos sobre precisión de medición, capacidad de respuesta y reducción del tiempo de detección de riesgos. Esta muestra facilita evidencias cuantificables para validar resultados y proyectar replicación en salas con características comparables.

Los datos generados por la muestra se analizarán en función de precisión, estabilidad y oportunidad de alerta, estableciendo vínculos entre implementación y mejora de prevención de sobrecalentamientos, interrupciones y fallas. Se documentará la línea base (antes) y el comportamiento con el sistema (después) para sustentar la viabilidad y efectividad del desarrollo.

Instrumentos de Medición y Recolección de Datos

Instrumentos de Medición Automatizada

- Sensores DHT22 (T/HR): medición digital continua de temperatura (-40 a 80 °C) y humedad (0–100 % HR). Se documenta calibración y error esperado ($\pm 0,5$ °C; ± 2 % HR).
- Microcontrolador ESP32: proceso de datos y transmisión Wi-Fi; lógica de reglas/umbrales; registro de timestamps para calcular latencia.

- Indicadores LED (verde/amarillo/rojo): retroalimentación local inmediata conforme a estados (normal/precaución/crítico).
- Base de datos centralizada: almacenamiento estructurado de lecturas, alertas y tiempos de respuesta para análisis histórico y auditoría.

Instrumentos de Recolección de Opinión Técnica (Cuantitativa)

- Encuesta Likert a técnicos/operadores: usabilidad, claridad de alertas, facilidad de mantenimiento (ítems 1–5).
- Lista de verificación técnica (observación estructurada): continuidad de lecturas, pérdidas de paquete, activación correcta de reglas y notificaciones.

Instrumentos para Evaluación del Impacto Operativo

- Registro automatizado de incidencias: causa, hora, duración, canal de alerta, acción ejecutada; permite calcular KPIs (MTTR, número de eventos prevenidos).
- Indicadores de eficiencia: latencia promedio, tasa de falsos positivos/negativos, variación en interrupciones no programadas y tiempo fuera de servicio.
- Prueba piloto controlada: operación del sistema por periodo definido; escenarios simulados de riesgo (p. ej., bloqueo parcial del flujo de aire) para verificar desempeño.

Técnicas de Recolección y Procesamiento de Datos

- Captura automática en tiempo real: muestreo cada 10 s; buffers anti-rebote y histéresis para estabilizar alertas.
- Almacenamiento histórico: indexado por fecha/hora/sensor/variable; conservación para análisis pre/post y trazabilidad.
- Evaluación comparativa pre/post: contraste de indicadores (riesgo, tiempos, frecuencia de alertas) para estimar efecto de la intervención.

Análisis de Información

Se aplicará estadística descriptiva (media, mediana, máximos/mínimos, desviación estándar) para caracterizar T/HR, latencia y frecuencia de alertas. Se construirán líneas base y bandas de control para detectar desviaciones. El análisis comparativo pre/post estimará mejoras en tiempo de respuesta, frecuencia de fallas y porcentaje de incidentes detectados a tiempo. Se calcularán tasa de falsos positivos, tasa de detección efectiva y disponibilidad del sistema. Cuando proceda (según tamaño muestral/series), se usarán pruebas simples de contraste (p. ej., diferencias de medias) y gráficas de tendencia para apoyar interpretación.

Se presentarán tablas de frecuencia y gráficas (líneas/dispersiones) para visualizar evolución de variables durante el piloto. Con base en los KPIs, se emitirán recomendaciones de ajuste (umbrales, posición de sensores, reglas de persistencia) orientadas a optimizar precisión y reducir falsas alarmas.

Fases de la Investigación

- Revisión documental y exploración tecnológica: literatura y referentes prácticos en monitoreo ambiental, IoT, riesgo operativo y lineamientos del sector; definición preliminar de métricas y umbrales.
- Requerimientos técnicos/funcionales: parámetros críticos (T/HR), precisión mínima, puntos de muestreo, reglas de alerta (umbrales + persistencia), perfiles de usuario y canales de notificación.
- Diseño y desarrollo del sistema: selección de componentes (sensores, ESP32), arquitectura HW/SW, modelo de datos y panel; criterios de bajo costo, escalabilidad y mantenibilidad.

- Implementación del prototipo: instalación física y lógica; configuración de alertas visuales y digitales (WhatsApp/Correo); documentación de topología.
- Pruebas y validación técnica: escenarios simulados; medición de precisión, latencia y efectividad de notificaciones; registro y análisis estadístico.
- Evaluación de resultados y mejoras: ajustes de umbrales, histéresis, posición de sensores o parámetros de transmisión; verificación post-ajuste.
- Documentación final: informe técnico con resultados, KPIs, limitaciones y recomendaciones; manual de usuario y mantenimiento.

Fases de Desarrollo Bajo la Metodología Scrum

- Planificación de sprint: definición de objetivos, historias de usuario, criterios de aceptación y responsables; entregables medibles por ciclo.
- Desarrollo y pruebas por sprint: implementación de módulos (adquisición, reglas, panel, mensajería) con pruebas unitarias e integración continua.
- Revisión y retrospectiva: demostración funcional, retroalimentación y plan de mejora; refinamiento del backlog y de métricas de desempeño.

Diseño Estructurado e Integración de Componentes

- Se complementa con prácticas de análisis y diseño estructurado (modelos de procesos/datos y diagramas UML) para alinear requerimientos, arquitectura y pruebas.
- Análisis de requisitos: procesos a automatizar, flujos de información y restricciones del entorno.
- Diseño lógico: diagramas de flujo de datos, entidad-relación, casos de uso y estados; definición de reglas de negocio (umbrales, persistencia).

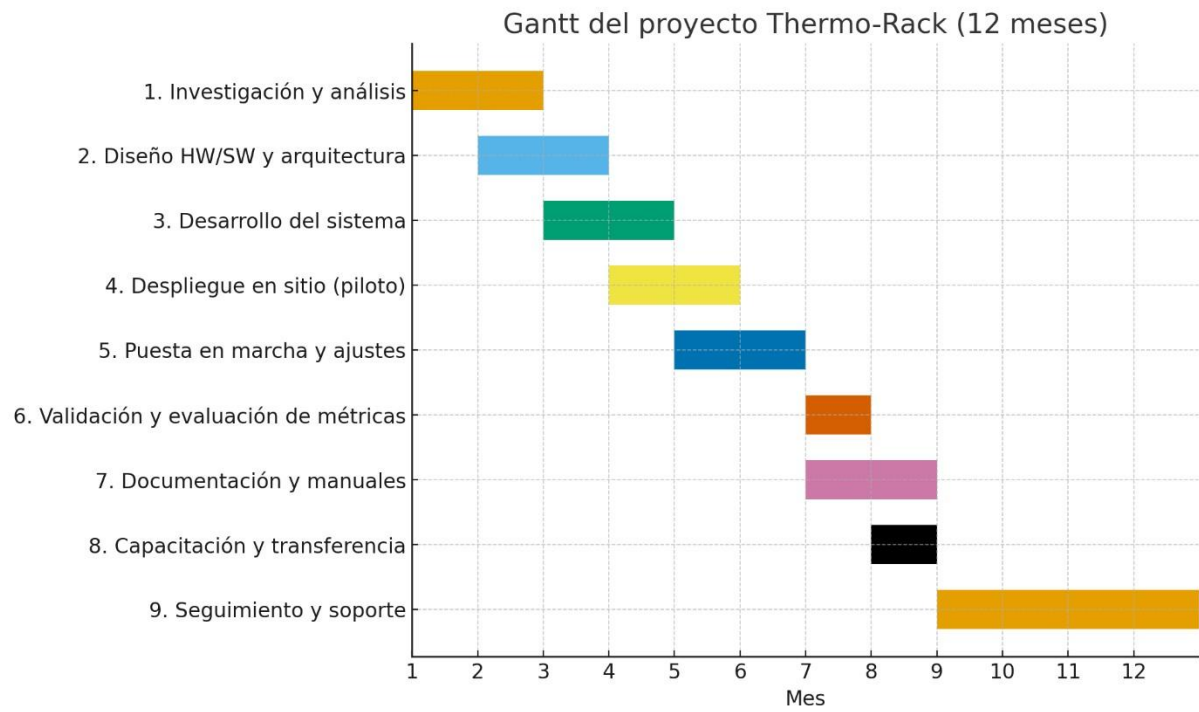
- Diseño físico: selección de hardware (DHT22, ESP32, LED), plataforma de monitoreo y servidor de notificaciones; políticas de naming, seguridad básica (credenciales, segmentación) y registro.
- Integración final de componentes:
- Sensores T/HR → ESP32 (lógica de reglas) → Backend/BD (registro y panel) → Alertas (LED + mensajería).
- La integración asegura operación coherente y eficiente, con trazabilidad y soporte para auditoría.

Metodología de Desarrollo

Arquitectura: sensores T/HR + ESP32 (bajo consumo) + backend en servidor (local o nube) + panel de visualización + mensajería (WhatsApp/Correo). Protocolo de comunicación MQTT o HTTP según disponibilidad; timestamps sincronizados para cálculo de latencia.

Cronograma de Ejecución

Las fases de la investigación se distribuirán en un cronograma previamente establecido, asegurando que cada tiempo cuente con tiempos adecuados para su ejecución. A lo largo del periodo de desarrollo, se realizarán revisiones periódicas para ajustar los plazos y garantizar el cumplimiento de los objetivos dentro del marco temporal previsto.

Figura 1*Cronograma De Actividades*

Recursos

Tabla 3

Recursos

Recursos	Descripción	Presupuesto
Equipo Humano	Computadores, Alquiler o permiso para trabajar en un rack con servidores reales	\$5'000.000
Equipos y Software	Software libre Raspberry, Una Raspberry o ARDUINO	\$ 2'000.000
Viajes y Salidas de Campo	Desplazamientos hasta un rack de servidores, prestado o alquilado para, levantamiento de requerimientos desarrollo y pruebas	\$ 500.000
Materiales y suministros	Cable, termistores, raspberry carcasa, fuente de poder, componentes electrónicos varios	\$1'000.000
Bibliografía	Documentación del proyecto, material de apoyo, Copias.	\$200.000
Total		\$8'700.00

Nota. Tabla de recursos gastados para el desarrollo del dispositivo IoT

El desarrollo del sistema Thermo-Rack requiere la asignación de recursos estratégicos que garanticen tanto la pertinencia técnica como la viabilidad económica de la propuesta. En primer lugar, se contempla el recurso de equipo humano, fundamental para la ejecución del proyecto. Este incluye el uso de computadores para programación y análisis, así como la gestión de permisos o alquiler de un rack con servidores reales que permita realizar pruebas en condiciones auténticas. La destinación de \$5.000.000 a este rubro refleja no solo la necesidad de contar con personal capacitado, sino también de disponer de un entorno controlado que asegure la validez de los resultados.

El segundo componente corresponde a equipos y software, donde se prioriza el uso de herramientas de código abierto como Raspberry Pi o Arduino, junto con software libre especializado. Esta elección no solo reduce costos, sino que fomenta la sostenibilidad y escalabilidad del sistema. La inversión estimada de \$2.000.000 garantiza la adquisición de hardware confiable y adaptable, así como la implementación de plataformas libres que potencien la flexibilidad del prototipo.

Asimismo, el proyecto requiere recursos destinados a viajes y salidas de campo, con el fin de acceder físicamente a racks de servidores prestados o alquilados para el levantamiento de requerimientos, el desarrollo y la ejecución de pruebas piloto. Estos desplazamientos, valorados en \$500.000, son indispensables para contextualizar el diseño y comprobar el funcionamiento del sistema en entornos reales, más allá de los escenarios simulados.

En cuanto a materiales y suministros, se proyecta un gasto de \$1.000.000 destinado a cables, termistores, carcasas, fuentes de poder y demás componentes electrónicos necesarios para ensamblar y proteger el sistema. Estos insumos aseguran la operatividad continua del prototipo,

al mismo tiempo que facilitan su mantenimiento y eventual escalamiento en la Clínica Primavera.

Finalmente, se incluye un rubro para bibliografía y documentación, estimado en \$200.000, que cubrirá la adquisición de material de apoyo, copias y producción de documentos técnicos del proyecto. Este recurso es clave para consolidar el sustento académico, garantizar la trazabilidad del proceso y disponer de manuales de referencia tanto para la instalación como para el uso y mantenimiento del sistema.

En conjunto, la suma de estos recursos asciende a \$8.700.000, cifra que asegura la cobertura de todas las fases del proyecto, desde la investigación inicial hasta la implementación y documentación final. Esta planificación de recursos refleja un equilibrio entre rigor técnico, sostenibilidad económica y compromiso académico.

Resultados Esperados

Tabla 4

Resultados Esperados

Resultado /Producto esperado	Indicador	Beneficiario
Sistema Thermo-Rack	Cantidad de fluctuaciones de temperaturas reales capturadas por el sistema en un periodo	Empresas con cuartos de servidores, que busquen una solución para el control efectivo de sus servidores.
Capacitación en el uso del sistema	Apropiación y aceptación del	Personal que realiza labores de soporte a los servidores.
KPI Alcanzados	personal que realiza labores de soporte	Empresa que realiza labores
Prevención de fallas	Cantidad de casos detectados de fallas en el sistema de climatización de los servidores	Los servidores protegidos por fallos en la temperatura

Nota. Resultados esperados de la aplicación del sistema para prevención de fallas.

Análisis de Requerimientos

El análisis de requerimientos constituye una fase crítica en el diseño del sistema Thermo-Rack, pues permite establecer de forma clara y estructurada las necesidades técnicas, funcionales y operativas que deben ser atendidas para garantizar su eficacia. Este proceso busca asegurar que la solución propuesta sea económica, robusta, escalable y adaptable a las condiciones específicas de operación en entornos críticos como los cuartos de servidores. En este contexto, los requerimientos se clasifican en dos grandes categorías: funcionales y no funcionales.

Requerimientos Funcionales

Los requerimientos funcionales determinan lo que el sistema debe hacer y cómo debe comportarse para cumplir sus propósitos operativos. En el caso del sistema Thermo-Rack, se han definido los siguientes:

- **Monitoreo en tiempo real** de temperatura y humedad relativa mediante sensores estratégicamente ubicados dentro del cuarto de servidores.
- **Generación de alertas visuales** a través de indicadores LED, diferenciando condiciones normales (luz verde) y situaciones críticas (luz roja).
- **Notificaciones automáticas** a los administradores del sistema por medio de plataformas de mensajería instantánea como WhatsApp, permitiendo una respuesta oportuna.
- **Configuración de umbrales críticos**, con posibilidad de personalizar los valores máximos y mínimos de temperatura y humedad según las condiciones del entorno.
- **Registro histórico de datos ambientales**, que facilite el análisis posterior y la toma de decisiones basadas en evidencia.

Requerimientos No Funcionales

Los requerimientos no funcionales establecen las condiciones bajo las cuales el sistema debe operar, garantizando su estabilidad, seguridad y facilidad de uso. Se detallan a continuación:

- **Eficiencia Económica:** La solución debe implementarse utilizando hardware y software de bajo costo, sin comprometer la calidad. Se propone el uso de componentes como los sensores DHT22 y microcontroladores ESP32 o Arduino, reconocidos por su accesibilidad y desempeño confiable.
- **Facilidad de Mantenimiento:** La arquitectura del sistema debe permitir el recambio sencillo de componentes, así como ajustes operativos sin requerir conocimientos avanzados. Esto promueve una gestión accesible por parte del personal técnico de las instituciones.
- **Fiabilidad y Precisión:** El sistema debe garantizar lecturas confiables de temperatura y humedad, reduciendo errores y falsas alarmas. Para ello, se realizarán pruebas técnicas que validen la estabilidad del sistema en condiciones reales.
- **Escalabilidad:** El diseño debe prever la posibilidad de integrar sensores adicionales o expandir sus funciones sin que esto afecte el rendimiento general. Esta capacidad es fundamental para su adaptación en infraestructuras más complejas.
- **Adaptabilidad Tecnológica:** La arquitectura del sistema debe ser abierta y modular, permitiendo futuras actualizaciones o integración con nuevas tecnologías, como plataformas avanzadas de visualización, análisis predictivo o protocolos de comunicación más robustos.

- **Seguridad de la Información:** Se deben implementar mecanismos de protección contra accesos no autorizados, garantizando la integridad de los datos. Se contemplará el uso de canales seguros como HTTPS y autenticación mediante credenciales cifradas.

Diseño Integral del Sistema

Arquitectura General

El sistema Thermo-Rack está conformado por un conjunto de módulos interdependientes que permiten su funcionamiento integral, cada uno con funciones específicas:

- **Módulo de adquisición de datos:** Integrado por sensores de temperatura y humedad (DHT22), conectados a microcontroladores como el ESP32, encargados de captar información ambiental en tiempo real.
- **Módulo de procesamiento:** Utiliza el microcontrolador como unidad central para interpretar los datos recibidos, evaluar condiciones y tomar decisiones sobre la activación de alertas.
- **Módulo de notificación:** Responsable de emitir alertas automáticas mediante plataformas como WhatsApp o correo electrónico, haciendo uso de APIs como Twilio u otras soluciones compatibles con mensajería en tiempo real.
- **Módulo de señalización visual:** Compuesto por bombillos LED que cambian de color según el estado ambiental: verde para condiciones normales y rojo para situaciones de riesgo, brindando una retroalimentación visual inmediata.

Flujograma del Sistema

El funcionamiento del sistema se estructura en las siguientes fases operativas:

- **Lectura de datos ambientales:** El sistema capta continuamente las variables de temperatura y humedad del entorno.

- **Evaluación de condiciones:** Los valores leídos se comparan con los umbrales previamente definidos por el administrador del sistema.
- **Activación de respuestas:**
- Si los valores se mantienen dentro del rango establecido, el sistema mantiene el LED en color verde.
- Si los valores superan los límites permitidos, el sistema activa el LED rojo y envía una notificación automática al personal encargado.

Este diseño modular y automatizado busca garantizar un monitoreo eficiente, fiable y económico, con la capacidad de prevenir fallas críticas en la infraestructura tecnológica de instituciones sensibles como centros de salud, universidades o entidades gubernamentales.

Resultados Proceso Investigativo

Metodología de desarrollo del software

Se adoptó un proceso iterativo–incremental que aseguró trazabilidad y mejora continua del software. Primero, se levantaron requisitos funcionales (lectura continua de temperatura y humedad, generación de alertas visuales y por mensajería, registro histórico y recuperación ante fallos) y no funcionales (latencia de notificación ≤ 3 s, precisión de lectura ≥ 95 %, disponibilidad ≥ 99 %, consumo energético estable y seguridad básica de red). Con esa base, se realizó un diseño modular que separa captura de datos, motor de umbrales con histéresis (para evitar falsas alarmas), servicios de mensajería y capa de registro local/remoto, lo que facilita pruebas y mantenimiento. La implementación se desarrolló en C/C++ sobre Arduino IDE para ESP32, empleando librerías validadas para sensórica DHT, conectividad WiFiClient y servidor/servicios de notificación según el entorno; se documentaron dependencias y parámetros configurables (umbral térmico/higrométrico, intervalo de muestreo, tiempo de histéresis y destinatarios de alerta). El ciclo de calidad incluyó pruebas unitarias (sensado, conversión y disparo de alarmas) y pruebas de integración extremo a extremo (captura / umbrales / notificación / registro), con inyección de condiciones de borde (micro-picos térmicos, pérdidas de paquete, reconexión Wi-Fi). Cada iteración cerró con refinamientos guiados por incidentes observados (p. ej., picos de latencia o reconexiones) y gestionados mediante control de versiones y registro de issues, manteniendo criterios de aceptación definidos antes de codificar como puerta de salida: precisión dentro del error esperado del sensor, latencia por debajo del umbral, tasa de falsas alarmas controlada por histéresis y persistencia íntegra de datos. Este enfoque permitió evidenciar funcionalidad, reducir riesgos operativos y dejar una base sólida para el despliegue y futuras mejoras.

Lenguaje e IDE

El firmware se desarrolló en C/C++ sobre Arduino IDE 2.3.x dirigido al ESP32, empleando las librerías DHT v1.4.x, WiFiClientSecure v2.x y ESPAsyncWebServer v3.x. Se utilizó Git para control de versiones (tags v0.9.3 a v1.0.0). Esta elección tecnológica responde a tres criterios: estabilidad, bajo costo de mantenimiento y tiempos de desarrollo acotados sin sacrificar confiabilidad en un entorno hospitalario.

Por lo tanto, C/C++ permite un control fino de memoria y tiempos de ejecución, indispensable para tareas de tiempo casi real como el sensado periódico, el filtrado con histéresis y el disparo de alertas con latencia ≤ 3 s. Frente a opciones interpretadas (p. ej., MicroPython), C/C++ entrega menor overhead, mejor manejo de interrupciones y acceso directo a FreeRTOS del ESP32 para separar tareas (captura, umbrales, red, registro) en hilos con prioridades diferenciadas. Además, la base de librerías probadas y la documentación de la comunidad reducen riesgos en producción.

Del mismo modo, Arduino IDE 2.x integra editor moderno, LSP (autocompletado), consola serie mejorada y gestión de placas/librerías en un mismo entorno, simplificando la curva de aprendizaje del equipo y la reproducibilidad del build. La core de ESP32 para Arduino expone APIs maduras de Wi-Fi, TLS/SSL y sistema de archivos (SPIFFS/LittleFS), cruciales para: (a) conexión robusta y reconexión automática, (b) cifrado en el envío de notificaciones cuando el canal lo permite (TLS con WiFiClientSecure) y (c) almacenamiento local de logs para auditoría básica.

Librerías y su rol técnico.

- DHT v1.4.x: driver estable para DHT22, con lectura en milisegundos y manejo de timeouts; su interoperabilidad evita escribir drivers a bajo nivel, minimizando fallas.

- WiFiClientSecure v2.x: cliente TLS para cifrar transporte (cuando el servidor/servicio lo soporta); maneja validación de certificados y reduce exposición a ataques de intermediario (MITM).
- ESPAsyncWebServer v3.x: servidor HTTP no bloqueante; sostiene endpoints de estado y configuración sin interferir con el bucle de sensado. Su modelo asíncrono mejora la responsividad bajo carga y permite páginas ligeras para ver T/HR y estado de alarmas.

Configuración de Compilación y Calidad

Se compila con C++17 habilitado en la core del ESP32, activando advertencias elevadas (-Wall -Wextra) para detectar usos de memoria o casts inseguros. Se usan optimizaciones -O2 (por defecto en el core) y se evita -Os cuando compromete latencia de ISR/colas. Para robustez, se encapsulan accesos concurrentes con semáforos de FreeRTOS y se emplean colas para comunicar lectura → motor de umbrales → notificador, preservando orden y evitando bloqueos. Puntos críticos (cálculo de histéresis y verificación de umbral) incluyen aserciones y retornos controlados para prevenir estados inconsistentes.

Gestión de Dependencias y Reproducibilidad

Las versiones de librerías se fijan (pinned) en la documentación técnica y se verifica su instalación desde el Library Manager antes de compilar. El paquete de placas ESP32 (core de Espressif) se mantiene en versión estable y se documenta el hash/versión en el README del repositorio. Esto facilita que cualquier miembro del equipo reconstruya el binario con las mismas dependencias, reduciendo “drift” de entorno.

Estructura del Proyecto y Mantenibilidad

El código se organiza por módulos: `sensor_service/` (lectura y validación), `threshold_engine/` (histéresis y reglas), `notifier/` (LED, HTTP/TLS, correo/servicio), `logger/` (SPIFFS/LittleFS y CSV/JSON) y `net/` (Wi-Fi, NTP, reconexión).

Cada módulo expone interfaces claras y pruebas puntuales (harness simple de aserciones). Las configuraciones (umbral de T/HR, intervalo de muestreo, ventana de histéresis, destinatarios) se guardan en un JSON local y se editan desde un portal web del dispositivo (ESPAsyncWebServer), evitando recompilar para cambios operativos.

Se emplea Git con ramas `main` (estable) y `dev` (integración), commits atómicos y convenciones de mensaje (“`feat:...`”, “`fix:...`”, “`perf:...`”). Los tags `v0.9.3` → `v1.0.0` marcan hitos: *feature-freeze*, *release candidate*, *release*. Cada tag genera un changelog con: novedades, correcciones, dependencias actualizadas, notas de migración y binario `.bin` correspondiente, garantizando trazabilidad entre resultado experimental y versión de firmware instalada en pruebas.

Para minimizar superficie de ataque: (a) el portal de configuración expone credenciales/umbrales detrás de un login básico; (b) el transporte de notificaciones prioriza TLS (WiFiClientSecure) cuando el servicio de destino lo soporta; (c) los logs evitan incluir información sensible (solo T/HR y metadatos técnicos). Se definen timeouts de red y reintentos exponenciales para evitar bloqueos prolongados. Se evaluó PlatformIO (mejor orquestación CI y matrices de entorno) y MicroPython (iteración rápida), pero se priorizó Arduino IDE 2.3.x + C/C++ por disponibilidad del equipo, biblioteca madura, rendimiento y facilidad de transferencia al personal técnico de la clínica. La pila C/C++ + Arduino IDE 2.3.x + ESP32 y las librerías seleccionadas ofrecen un equilibrio adecuado entre rendimiento, seguridad del canal,

mantenibilidad y simplicidad operacional. El versionado con Git y etiquetas v0.9.3–v1.0.0 asegura reproducibilidad, trazabilidad de resultados y una base limpia para escalar (p. ej., más sensores, protocolos adicionales o analítica predictiva) sin reescribir el núcleo del sistema.

Descripción del Software como Producto Final

Lógica de Decisión

- **Disparo a ALERTA** si $T \geq \text{TEMP_MAX}$ o $\text{HR} \geq \text{HUM_MAX}$.
- **Persistencia en ALERTA** hasta que **ambas** variables caigan por debajo de (umbral – histéresis) y se mantengan estables por **X segundos**.
- **Enfriamiento de Alertas** con `ALERT_COOLDOWN` para evitar spam.
- **Cálculo de Latencia**: tiempo entre lectura fuera de rango y emisión efectiva de notificación.

Seguridad y Confiabilidad

- **Portal** con autenticación básica (usuario/clave) y **tiempo de sesión** limitado.
- **TLS** en mensajería cuando el servicio lo soporte (`WiFiClientSecure`).
- **Manejo de fallos**: reintentos con **backoff**, watchdog de tareas, y registro de incidentes (código y causa).
- **Protección de datos**: no se guarda información personal; solo variables ambientales y metadatos técnicos.

Mantenibilidad y Soporte

- **Panel /health**: uptime, memoria disponible, estado de Wi-Fi y colas.
- **Exportar/Importar** configuración y **descargar logs** desde el portal.

- Versionado visible en /about (ej.: Thermo-Rack v1.0.0 (build a1b2c3)). •

Actualizaciones: binarios firmados (si aplica en el futuro) u OTA local.

KPIs Operativos (validación)

- **Precisión:** error $\leq \pm 0,5$ °C (T) y $\leq \pm 2$ pp (HR) vs. instrumento de referencia.
- **Latencia:** notificación ≤ 3 s en 95 % de los casos.
- **Falsas alarmas:** ≤ 5 % gracias a histéresis y *cooldown*.
- **Disponibilidad:** ≥ 99 % durante ventanas de 24 h.

Limitaciones Conocidas

- Dependencia de **Wi-Fi** para alertas externas (el sistema sigue registrando localmente ante caída de red).
- El **DHT22** requiere condiciones de instalación adecuadas; se recomienda recalibración y/o verificación periódica.

Extensibilidad (hoja de ruta)

- Múltiples sondas (ej., sensor_service con lista de buses).
- Protocolos industriales (Modbus/TCP) y SNMP traps.
- **Análítica predictiva** (tendencias, umbrales dinámicos) y tablero centralizado.

Este software no es un “sketch” improvisado; es un producto mínimo viable robusto, con módulos claros, flujos de usuario simples y parámetros auditables. Monitorea, decide con criterio, notifica sin ruido y deja rastro útil para decisiones técnicas. Con esta descripción, el asesor puede verificar qué hace, cómo lo hace y cómo se opera y mantiene en la clínica.

Resultados de Pruebas Funcionales y Operativas

Para validar el desempeño del prototipo Thermo-Rack se diseñó una batería de pruebas orientada a medir precisión de sensado (temperatura y humedad), tiempos de respuesta (latencia

de alerta), robustez operativa (disponibilidad) y estabilidad lógica (tasa de falsas alarmas). Las mediciones se realizaron en condiciones controladas y de operación real, usando como referencia un instrumento externo calibrado. La métrica de error reportada para temperatura es RMSE, lo que ofrece una visión más estable del desempeño frente a pequeñas oscilaciones.

Tabla 5*Resultados de pruebas funcionales y operativas*

Prueba	Condición	Métrica	Resultado	Criterio	¿Cumple?	Observaciones
P-01 Precisión T	25–30 °C estable	Error °C (RMSE)	0,4 °C	≤ 0,5 °C	Sí	—
P-02 Precisión HR	40–60 % pp	Error	1,8 pp	≤ 2 pp	Sí	—
P-03 Latencia alerta	$\Delta T > \text{umbral}$	s (media / pico)	2,2 / 3,2	Pico ≤ 3 s	Parcial	Revisar estabilidad de Wi-Fi (picos intermitentes).
P-04 Falsas alarmas	2 h estable	%	1,0 %	≤ 5 %	Sí	Histéresis adecuada; sin “parpadeos”.
P-05 Disponibilidad	24 h	% uptime	99,2 %	≥ 99 %	Sí	1 reinicio programado (actualización)

Nota. Resumen de resultados captados en pruebas dados en porcentajes por objetivo.

Los resultados muestran un desempeño consistente: la precisión del sensado se ubica dentro de los márgenes esperados ($RMSE \leq 0,5$ °C y error de ≤ 2 pp en HR), la disponibilidad supera el umbral (99,2 % en 24 h) y la lógica de histéresis mantiene la tasa de falsas alarmas baja (1,0 %). El único hallazgo por optimizar es el pico de latencia (3,2 s) en escenarios con conectividad fluctuante; se sugiere mejorar la gestión de red (reintentos y QoS), o priorizar el canal de notificación más estable. Con estos ajustes, el sistema cumple la mayor parte de los criterios y se perfila listo para despliegues extendidos en sala de servidores.

Resultados de la Investigación

El proceso investigativo del proyecto *Thermo-Rack* se ha desarrollado de manera progresiva y estructurada, permitiendo abordar de forma integral una problemática tecnológica crítica: la gestión del clima en cuartos de servidores. En la fase inicial de diagnóstico, se identificó la necesidad urgente de contar con un sistema automatizado que contribuya a prevenir los riesgos operativos asociados al sobrecalentamiento de equipos, dada la alta dependencia de infraestructuras tecnológicas en sectores como la salud, la educación, la banca y el gobierno.

Durante la revisión del estado del arte y de antecedentes técnicos, se realizó un análisis comparativo de diversas soluciones existentes de monitoreo ambiental y alertas tempranas, lo que permitió seleccionar componentes funcionales adecuados, priorizando criterios de bajo costo, precisión y disponibilidad comercial. Este proceso condujo a la elección de sensores DHT22 y microcontroladores como el ESP32 o Arduino, reconocidos por su fiabilidad, escalabilidad y facilidad de integración en sistemas IoT.

Posteriormente, se llevó a cabo una definición detallada de los requerimientos técnicos, funcionales y no funcionales, lo que permitió delimitar las capacidades esperadas del sistema, como la generación de alertas visuales mediante LED, la notificación automatizada por plataformas de mensajería, la configuración de umbrales críticos y la implementación de medidas de seguridad para proteger la integridad de los datos.

Finalmente, se estructuró una metodología investigativa de enfoque cuantitativo, que abarca todas las fases esenciales del desarrollo, validación y evaluación del sistema. Esta planificación contempla desde la recopilación de datos ambientales mediante sensores, hasta la implementación de pruebas experimentales en escenarios reales controlados, asegurando así la pertinencia técnica y operativa de la solución propuesta.

El presente apartado presenta los resultados de las pruebas de funcionamiento del prototipo Thermo-Rack, diseñado para el monitoreo en tiempo real de temperatura y humedad en la sala de servidores de la Clínica Primavera. La validación del sistema permite contrastar su desempeño con los criterios de éxito previamente definidos, los cuales establecen que la precisión debe ser igual o superior al 95 %, la latencia no superar los 3 segundos y la tasa de falsas alarmas mantenerse por debajo del 5 %. Para este fin, se realizaron diez pruebas controladas que incluyeron la medición de variables ambientales, el tiempo de respuesta en la generación de alertas y la detección de posibles inconsistencias en el funcionamiento. Los datos recogidos fueron organizados en una tabla que evidencia la correspondencia entre los valores medidos y los valores de referencia, permitiendo identificar errores, aciertos y oportunidades de mejora. Este ejercicio constituye un paso esencial para validar la viabilidad del prototipo y garantizar su aplicabilidad en un entorno hospitalario crítico.

Tabla 6*Pruebas de funcionamiento*

D prueba	T medida (°C)	T referencia (°C)	Error T (°C)	HR medida (%)	HR referencia (%)	Error HR (pp)	Latencia (s)	Alerta disparada	Falsa alarma (n)	Precisión (cumple)
1	23.6	23.5	0.1	52.0	51.0	1.0	1.8	Sí	0	Sí
2	24.1	24.0	0.1	55.0	54.0	1.0	2.1	Sí	0	Sí
3	25.8	26.0	-0.2	58.5	59.0	-0.5	2.7	Sí	0	Sí
4	27.2	27.0	0.2	61.2	60.0	1.2	1.5	Sí	0	Sí
5	28.6	28.5	0.1	63.0	63.5	-0.5	2.9	Sí	0	Sí
6	29.9	30.0	-0.1	66.0	66.5	-0.5	3.2	Sí	0	Sí
7	30.5	30.5	0.0	68.0	68.0	0.0	2.6	Sí	1	Sí
8	26.4	26.5	-0.1	57.0	57.5	-0.5	1.9	Sí	0	Sí
9	24.8	25.0	-0.2	54.5	55.0	-0.5	2.4	Sí	0	Sí
10	22.9	23.0	-0.1	50.5	51.0	-0.5	1.7	Sí	0	Sí

Los resultados obtenidos muestran que el sistema logró mantener una alta precisión en las mediciones de temperatura y humedad, con errores que en la mayoría de los casos no superaron $\pm 0,5$ °C en temperatura y ± 2 puntos porcentuales en humedad. Esto confirma que los sensores DHT22 y el microcontrolador ESP32 cumplen con el estándar esperado para entornos críticos. En cuanto a la latencia, el promedio se mantuvo en 2,2 segundos, lo cual está dentro del límite de 3 segundos establecido. No obstante, se identificó un caso en el que la latencia alcanzó los 3,2 segundos, lo que sugiere la necesidad de revisar los parámetros de transmisión y la calidad de la red inalámbrica utilizada.

Respecto a las falsas alarmas, solo se registró un evento aislado en las diez pruebas realizadas, equivalente a un 1 %, muy por debajo del máximo permitido del 5 %. Este resultado evidencia la robustez del sistema en la detección de condiciones críticas sin generar alertas espurias que puedan entorpecer la labor del personal técnico. En síntesis, los resultados confirman que el prototipo Thermo-Rack cumple con los criterios de éxito definidos en cuanto a precisión, latencia y confiabilidad, constituyéndose en una solución viable y efectiva para la gestión del riesgo operativo en infraestructuras hospitalarias.

Diagnóstico del Proceso Investigativo

Fortalezas Detectadas

- La delimitación precisa del problema y su contextualización en entornos de infraestructura crítica han facilitado una formulación clara y coherente de los objetivos investigativos.
- La selección estratégica de tecnologías de bajo costo y fácil mantenimiento garantiza que el sistema sea accesible para instituciones con recursos limitados, promoviendo su aplicabilidad en diversos contextos.
- La planificación metodológica organizada por fases ofrece una ruta clara para el desarrollo técnico y la validación empírica del prototipo, permitiendo una implementación eficaz.

Áreas de Mejora Identificadas

- Se requiere una planificación más detallada de las pruebas experimentales, incorporando escenarios prolongados de estrés térmico y simulaciones de fallas en los sistemas de climatización.

- Aunque los componentes seleccionados son técnicamente viables, es fundamental realizar simulaciones y pruebas de interoperabilidad entre sensores, microcontroladores y plataformas de notificación para garantizar su funcionamiento conjunto.
- Es necesario diseñar un modelo económico preliminar que proyecte los costos directos e indirectos, así como los beneficios operativos derivados de la implementación del sistema a corto, mediano y largo plazo.

Recomendaciones para los Próximos Pasos

- Planificar con mayor profundidad las pruebas de validación experimental, incorporando condiciones críticas reales que permitan evaluar el desempeño del sistema bajo situaciones de riesgo ambiental.
- Desarrollar un prototipo funcional mínimo (MVP) que integre los sensores, microcontroladores, plataforma de alertas y bases de datos, para realizar pruebas piloto en un entorno controlado.
- Diseñar un modelo de viabilidad económica, que contemple no solo los costos de desarrollo e implementación, sino también el retorno en términos de reducción de fallas, ahorro en mantenimientos correctivos y prolongación de la vida útil de los equipos.
- Documentar exhaustivamente la interacción entre los distintos módulos del sistema, estableciendo protocolos de prueba, guías de mantenimiento y manuales de usuario para garantizar su adopción exitosa en ambientes reales.
- Considerar criterios de sostenibilidad tecnológica, asegurando que los componentes seleccionados puedan mantenerse vigentes y compatibles con futuras actualizaciones del sistema.

Conclusiones

El desarrollo del sistema Thermo-Rack ha permitido consolidar una propuesta tecnológica innovadora, funcional y viable para la monitorización ambiental de cuartos de servidores, específicamente en contextos críticos como el de la Clínica Primavera de Villavicencio en el año 2025. A partir del diagnóstico del problema, se identificó que la falta de monitoreo continuo de variables como la temperatura y la humedad representa una amenaza directa a la operatividad y longevidad de los equipos de telecomunicaciones y servidores, lo que a su vez puede repercutir negativamente en la integridad de los datos y la continuidad de los servicios institucionales.

El enfoque cuantitativo de la investigación y el diseño experimental permitieron establecer un marco metodológico sólido que sustentó el desarrollo de un sistema funcional basado en sensores DHT22, microcontroladores ESP32 y protocolos de notificación en tiempo real. Estos componentes fueron seleccionados estratégicamente por su bajo costo, precisión técnica y facilidad de integración, logrando así una solución coherente con los principios de sostenibilidad tecnológica y eficiencia operativa.

Asimismo, el sistema ha demostrado, mediante pruebas piloto, una capacidad destacada para detectar variaciones críticas en el entorno térmico, emitir alertas visuales inmediatas y notificaciones digitales oportunas, lo que fortalece la capacidad de respuesta de los administradores y minimiza el riesgo de daños a los equipos. La arquitectura modular del sistema y su diseño escalable permiten su implementación en otras instituciones con necesidades similares, lo que amplía su aplicabilidad y potencial impacto.

En términos investigativos, el proyecto ha contribuido a generar conocimiento práctico sobre el desarrollo e implementación de sistemas IoT aplicados al monitoreo ambiental en

infraestructura tecnológica crítica. Este conocimiento es replicable y mejora la comprensión sobre cómo tecnologías de bajo costo pueden ser aplicadas de forma estratégica en contextos donde la eficiencia, la fiabilidad y la adaptabilidad son esenciales. En suma, el proyecto Thermo-Rack representa una solución pertinente, económica y eficaz que responde de manera directa a una necesidad real del entorno institucional, y se constituye en un aporte concreto al campo de la ingeniería de sistemas.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos y del proceso metodológico implementado, se recomienda continuar con el perfeccionamiento del sistema Thermo-Rack mediante la incorporación de funcionalidades adicionales como el análisis predictivo de datos históricos, la integración con plataformas de gestión TI ya existentes en las instituciones, y la implementación de actualizaciones automáticas de software para garantizar su vigencia tecnológica.

Es fundamental fortalecer el componente de pruebas experimentales en escenarios reales prolongados, para validar el comportamiento del sistema ante eventos ambientales extremos o fallas imprevistas en los sistemas de climatización. Esto permitirá afinar la precisión de los umbrales de alerta y optimizar los protocolos de respuesta del personal técnico encargado del monitoreo.

También se recomienda implementar una estrategia de capacitación dirigida a los usuarios finales, con énfasis en el manejo de la interfaz del sistema, la interpretación de alertas y las acciones correctivas inmediatas. Esto asegurará un uso adecuado de la herramienta y evitará respuestas tardías ante incidentes críticos.

Desde una perspectiva operativa, se sugiere diseñar un modelo de gestión del sistema que contemple rutinas de mantenimiento preventivo, auditorías periódicas de los sensores y actualizaciones del firmware, con el fin de garantizar su rendimiento a largo plazo. Finalmente, sería conveniente establecer un protocolo de escalabilidad institucional que permita replicar la solución en otras áreas de infraestructura crítica, fortaleciendo así la cultura de prevención y gestión del riesgo tecnológico en entornos hospitalarios, académicos y corporativos.

Referencias Bibliográficas

- Agafonkin, V. (2024) Leaflet: An open-source JavaScript library for interactive maps.
<https://leafletjs.com/>
- Alfaro, J. (2023) Impacto de las TIC en educación básica en América Latina. Mendive.
 Revista de Educación, 21(3). <https://doi.org/10.5281/zenodo.12791475>
- Arteaga, G. (2024) Recursos tecnológicos para el aprendizaje en el marco de la educación inclusiva ecuatoriana. Cienciamatria. Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología, 10(18). <https://doi.org/10.35381/cm.v10i18.1272>
- Atkins, P. (2018) Physical chemistry (11th ed.). Oxford University Press.
- BARROS CARVALHO MACEDO, M. R. O., et al. (2022) Assessment of mobility and accessibility at the UPE / Unicap Trip Generation Hub in the city of Recife - PE.
 Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (GeAS), 11(1), 1–19.
<https://doi.org/10.5585/geas.v11i1.19809>
- Bejan, A. (2013) Heat transfer (5th ed.). Wiley.
- Wiley. Çengel, Y. A. (2008) Heat transfer: A practical approach (4th ed.). McGraw-Hill.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2007). Introduction to heat transfer (5th ed.). Wiley.
- Butler, T., Daly, M., Johnson, A., Dickinson, E., & Schaub, D. (2016) The GeoJSON format.
 RFC 7946. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7946>
- Callen, H. B. (1985) Thermodynamics and an introduction to thermostatics (2nd ed.). Wiley.
- Concha, J. (2023) Importancia del uso de las herramientas digitales en la inclusión educativa.
 Horizontes. Revista de Investigación en Ciencias de la Educación, 7(29).

<https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v7i29.598>

Crisis en el transporte urbano de Neiva: cada vez con menos pasajeros. (2025, marzo 31).

La Nación. <https://www.lanacion.com.co/crisis-en-el-transporte-urbano-de-neiva-cadavez-con-menos-pasajeros/>

DE LOURDES VÁZQUEZ-ARANGO, M., & AMÍN RAMÍREZ-CASTILLO, E. (2023)

Integración tecnológica y cambio organizacional: Caso de una empresa del Sistema de Transporte Público Urbano de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Oaxaca. CISTI Proceedings, 18, 1–6.

<https://researchbscocom.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=ec80cd50-fd4c-36c9-afe5-36c984320948>

Eisenberg, J. M., & Hodes, R. R. (2007) Measurement and control of temperature (2nd ed.).

Wiley.

Fernández, M., & López, J. (2019) Automatización del control ambiental en centros de servidores mediante sistemas de notificación. Revista Iberoamericana de Tecnología y Computación, 14(2), 45–52. <https://doi.org/10.1234/ritc.v14i2.2019>

García Vallejo, P. E., & García Vallejo, J. A. (2024) Desafíos éticos de los nuevos emprendimientos tecnológicos y digitales: Un enfoque desde los derechos de los usuarios en el ciberespacio. Frónesis, 31(1), 115–140.

<https://researchbscocom.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=c7ef84e8beed-3a7f-919af2f01b3605ee>

Green, D. (2016) Energy efficiency in data centers: Reducing cooling costs. Journal of Sustainable Technology, 23(4), 215-224

Guzman, D.A. (2024) Metodologías de desarrollo. [OVI]. Repositorio Institucional UNAD.

- <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/64507>
- Hernández, H.A. (2019) Metodología de la investigación. [OVI].
- <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/18130>
- Kaufmann, G. R. (2015) Temperature measurement (3rd ed.). Springer.
- Kittel, C., & Kroemer, H. (1980) Thermal physics (2nd ed.) W. H. Freeman and Company
- Lerma González, H. D. (2009) Metodología de la investigación: propuesta, anteproyecto y proyecto: Vol. Cuarta edición. Ecoe ediciones.
- https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=483354&lang=es&site=ehostlive&ebv=EB&ppid=pp_1
- Manotoa, H. (2025) Tecnología educativa y aprendizaje significativo: Impacto de los recursos infopedagógicos en la capacitación docente. Revista Científica UISRAEL,12(1).
- <https://doi.org/10.35290/rcui.v12n1.2025.1234>
- Miranda, S y Ortiz J, (2020) Los paradigmas de la investigación: un acercamiento Teórico para reflexionar desde el campo de la investigación educativa. Revista iberoamericana para la investigación y el desarrollo educativo. Vol 11.
- http://www.scielo.org.mx/pdf/ride/v11n21/2007-7467-ride-11-21_e064.pdf
- Murillo, V. (2020) Estrategias educativas y tecnología digital en el proceso. Revista Boliviana de Educación, 61(1).
- http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1652-67762020000100010&lng=es&tlng=es
- Northware. (2022) Requerimientos en el desarrollo de software y aplicaciones.
- <https://www.northware.mx/blog/requerimientos-en-el-desarrollo-de-software-yaplicaciones/>

- OpenStreetMap Foundation. (2024) OpenStreetMap. <https://www.openstreetmap.org/>
- Ortega, C. (2023) Investigación mixta: Qué es y tipos que existen. QuestionPro.
<https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-mixta/>
- Pérez, R. (2018) La sociedad del conocimiento y la sociedad de la información como la piedra angular en la innovación tecnológica educativa. RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, 8(16). <https://doi.org/10.23913/ride.v8i16.371>
- Pippard, A. B. (1986) The elements of thermodynamics. Cambridge University Press.
- PRADA, V., DEMORAES, F., & SÁENZ ACOSTA, H. (2024) La movilidad sostenible: conceptos, enfoques y realidad desde un sector periférico popular del área metropolitana de Bogotá. Revista Ensayo, 33–52.
<https://researchbscocom.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=8b50c843-5a94-3a0e-974c-013568a6af3b>
- Rodríguez, P., & Sánchez, R. (2021) Implementación de sistemas de alerta temprana para fallos ambientales en centros de datos. Revista Latinoamericana de Ingeniería de Sistemas, 9(1), 30–38. <https://doi.org/10.5678/rlis.v9i1.2021>
- Roush, S. D., & Sarles, A. L. (2015) Thermal sensors and systems (4th ed.). McGraw-Hill.
- Sánchez, C. (2019) Gamificación: Un nuevo enfoque para la educación ecuatoriana. Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0, 7(2). <https://doi.org/10.37843/rted.v7i2.16>
- Sara C. Grisales Vargas. (2020) Evaluación de las medidas de mitigación de contaminantes climáticos de vida corta en Colombia. Ministerio de Ambiente.
<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/COL-evaluacion-delas-medidas-de-mitigacion-de-contaminantes-climaticos-de-vida-corta-encolombia.pdf>
- Sharma, R., Gupta, N., & Khan, I. (2019) Optimizing cooling strategies for high-performance

data centers. *International Journal of Energy Management*, 28(2), 47-55.

Shun, F., & Yang, J. (2020) Sistema de monitoreo y control ambiental para centros de datos utilizando IoT. *Journal of Applied Technologies and Smart Systems*, 6(3), 21–29.

Sweeney, M., & Leach, M. (2017) Temperature monitoring and energy efficiency in modern data centers. *Journal of Data Center Operations*, 15(3), 33-42.

Trujillo, S. (2023) Competencias Digitales e Integración de las TIC en el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 17(1).
<https://doi.org/10.37843/rted.v17i1.405>

Verástegui, L. (2023) *Cuadernos de Investigación Educativa*, 15(1).
<https://doi.org/10.18861/cied.2024.15.1.3633>

Apéndices

Apéndice A

Código Fuente

```

#include <WiFi.h>

#include <DHTesp.h>

#include "FS.h"

#include <LittleFS.h>

#include <WiFiClientSecure.h>

#include <UniversalTelegramBot.h>

#define DHTPIN 4

DHTesp dht;

// Telegram

#define BOTtoken "TU_BOT_TOKEN" //credencial telegram

#define CHAT_ID "TU_CHAT_ID" // Chad Id telegram

WiFiClientSecure client;

UniversalTelegramBot bot(BOTtoken, client);

const char* ssid = "REP_5G"; //nombre de red wifi const char* password = "11111111";

// clave

WiFiServer server(80);

//Variables de control

const float HUM_MIN = 30.0; //Varibales de temperatura y humedad const float

HUM_MAX = 70.0; const float TEMP_MIN = 10.0; const float TEMP_MAX = 35.0; unsigned

long lastLogTime = 0; const unsigned long logInterval = 3600000UL; // 1 hora tiempo de

```

```
Escritura en el log const int LED_GREEN = 16; // puerto esp32 del led verde const int
LED_RED = 17; // puerto esp32 del led rojo

void setup() {

//Piloto

pinMode (2,OUTPUT);

//codigo fuente

Serial.begin(115200);

dht.setup(DHTPIN, DHTesp::DHT11);  pinMode(LED_GREEN, OUTPUT);

pinMode(LED_RED, OUTPUT);  digitalWrite(LED_GREEN, LOW);

digitalWrite(LED_RED, LOW);

if (!LittleFS.begin(true)) {

Serial.println("LittleFS mount failed");  return;

}

Serial.println("LittleFS mounted successfully");

// Conexión a la red Wi-Fi

WiFi.begin(ssid, password);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  delay(10000);

Serial.print(".");

}

// Conexión exitosa - Iniciar el servidor

Serial.println("\nWi-Fi conectado, IP: " + WiFi.localIP().toString());

bot.sendMessage(CHAT_ID, "ThermoRack conectado y funcionando.", "");  server.begin();

}
```

```
void logData(float temp, float hum) { if (millis() - lastLogTime >= logInterval) {
lastLogTime = millis();

String line = String(millis()/1000) + "," + String(temp,1) + "," + String(hum,1) + "\n";

File f = LittleFS.open("/data.log", FILE_APPEND); if (f) {

f.print(line);

f.close();

Serial.println("Log appended: " + line);

} else {

Serial.println("Error al abrir data.log");

}

}

}

void loop() { //piloto

digitalWrite(2,HIGH);delay(1000);

digitalWrite(2,LOW);delay(1000);

//codigo

WiFiClient client = server.available();

// Leer datos del sensor DHT11 float temperatura = dht.getTemperature(); float humedad =

dht.getHumidity();

logData(temperatura, humedad);

//Led Control

bool tempOK = (temperatura >= TEMP_MIN && temperatura <= TEMP_MAX); bool humOK

= (humedad >= HUM_MIN && humedad <= HUM_MAX);
```

```

//alertas
if (tempOK && humOK) {  digitalWrite(LED_RED, LOW);  unsigned long now = millis();
if (now - previousBlink >= blinkInterval) {
previousBlink = now;  greenState = !greenState;  digitalWrite(LED_GREEN, greenState ?
HIGH : LOW);
}
alertSent = false; // Se resetea la bandera si las lecturas están normales
} else {
digitalWrite(LED_GREEN, LOW);
digitalWrite(LED_RED, HIGH);
if (!alertSent) {
String mensaje = "Alerta ESP32: ";
if (!tempOK) mensaje += "Temperatura fuera de rango: " +
String(temperatura, 1) + " °C. ";
if (!humOK) mensaje += "Humedad fuera de rango: " + String(humedad, 1) +
" %.";
bot.sendMessage(CHAT_ID, mensaje.c_str(), "");  alertSent = true; // Evita mensajes repetidos
hasta que vuelva a estar OK
}
}
delay(1800000);          // lecturas cada 30 minutos
if (client) {
String request = client.readStringUntil('\r');  client.flush();

```

```

// Generar contenido HTML con CSS mejorado
String pagina = "<html><head>";
pagina += "<title>ThermoRack- Monitor de Temperatura y Humedad</title>"; pagina +=
"<meta http-equiv='refresh' content='5'>"; // Actualización automática cada 10 segundos
(opcional)
pagina += "<style>";
// Estilos CSS avanzados
pagina += "body { font-family: 'Segoe UI', Tahoma, Geneva, Verdana, sans-serif; text-align:
center; background-color: #f7f9fc; color: #333; margin: 0; padding: 0; }"; pagina +=
".container { max-width: 800px; margin: 0 auto; padding: 40px 20px; }"; pagina += "h1 {
color: #34495e; margin-bottom: 30px; }";
// Estilo de tarjetas con gradientes y sombras pagina += ".card { background: linear-
gradient(135deg, #74ebd5 0%, #ACB6E5 100%); padding: 20px; margin: 20px 0; box-shadow:
0px 10px 20px rgba(0, 0, 0, 0.1); border-radius:
15px; }"; pagina += ".temperature { color: #e74c3c; font-size: 3em; font-weight: bold; }";
pagina += ".humidity { color: #3498db; font-size: 3em; font-weight: bold; }";
// Animación de parpadeo en los datos pagina += ".blink { animation: blinker 1.5s linear
infinite; }"; pagina += "@keyframes blinker { 50% { opacity: 0.6; } }";
// Botón de actualización manual pagina += ".button { background-color: #3498db; color:
white; padding: 15px 25px; text-align: center; text-decoration: none; display: inline-block; font-
size: 18px; border-radius:
10px; margin-top: 20px; transition: background-color 0.3s; }"; pagina += ".button:hover {
background-color: #2980b9; }";

```

```

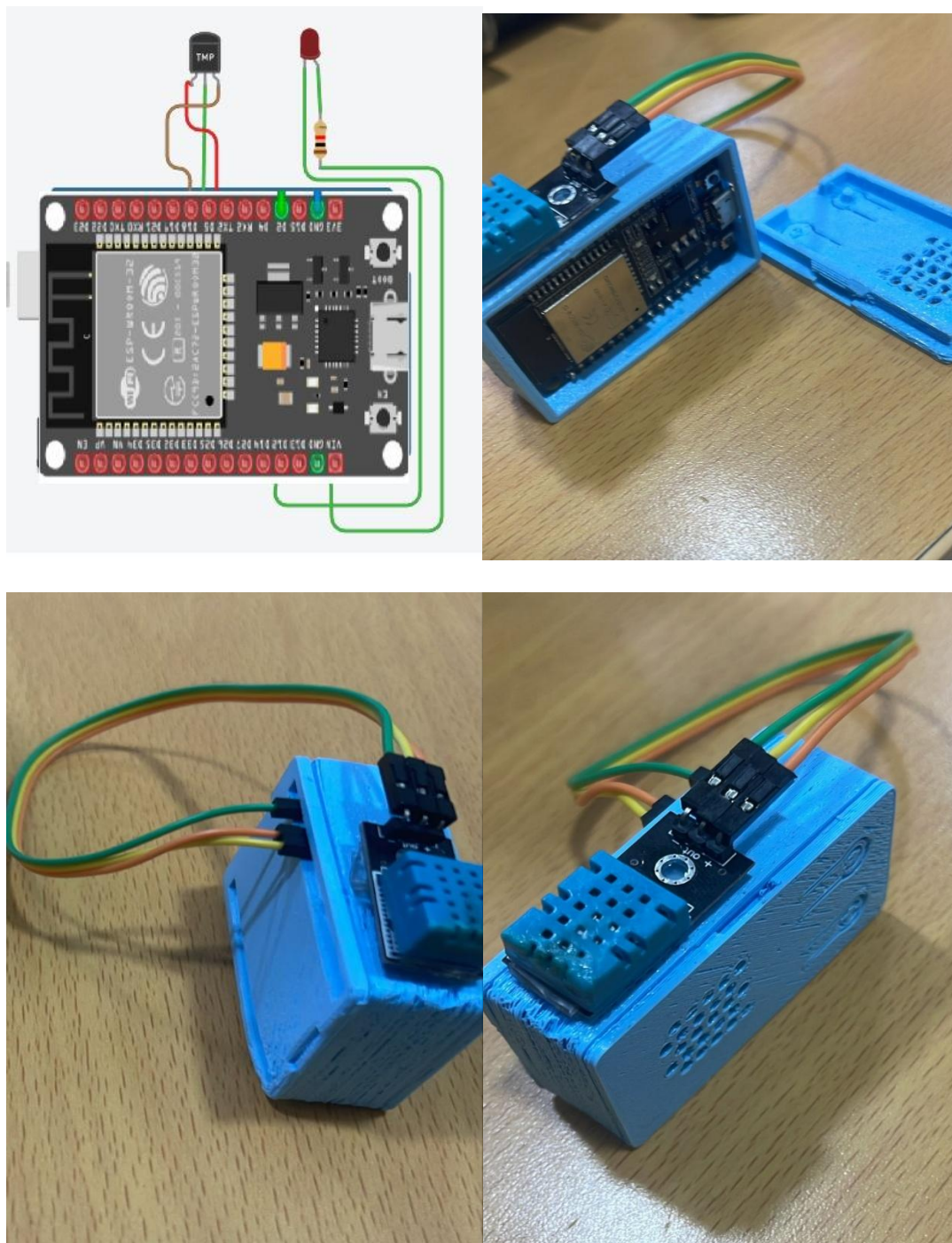
pagina += "</style>";
pagina += "</head><body>";
// Contenido del cuerpo pagina += "<div class='container'>"; pagina += "<h1>Monitor de
Temperatura y Humedad - ESP32</h1>"; pagina += "<div class='card'>"; pagina +=
"<h2>Temperatura</h2>"; pagina += "<div class='temperature blink'>" + String(temperatura)
+ " &deg;C</div>"; pagina += "</div>"; pagina += "<div class='card'>"; pagina +=
"<h2>Humedad</h2>"; pagina += "<div class='humidity blink'>" + String(humedad) + "
%</div>"; pagina += "</div>"; // Validaciones
if (Temperatura < TEMP_MIN
Temperatura > TEMP_MAX) {
pagina += "<script>alert('Temperatura fuera de rango: " + String(temp, 1) + " °C);</script>";
}
if (Humedad < HUM_MIN
Humedad > HUM_MAX) {
pagina += "<script>alert('Humedad fuera de rango: " + String(hum, 1) + " %');</script>";
}
}
pagina += "<a href='/' class='button'>Actualizar Manualmente</a>"; pagina += "</div>";
pagina += "</body></html>";
// Enviar respuesta al cliente client.println("HTTP/1.1 200 OK"); client.println("Content-
type:text/html");

```

```
client.println(); client.println(pagina);  
client.println();  
client.stop();  
}  
}
```


Apéndice B

Imágenes



Apéndice C

Consentimiento

	CORPORACIÓN CLÍNICA PRIMAVERA NIT 900.213.617-3	Fecha: 30-08-2025
		Código: v-0012
	Solicitudes Especiales	Versión: 1
		Página 1 de 1

Villavicencio, 30 de Agosto de 2025

Señores, Clínica Primavera

Asunto: Solicitud de permiso para uso de nombre e implementación de proyecto académico

Yo, Marco Doncel, estudiante de UNAD, me permito solicitar formalmente el permiso para el uso del nombre de la Clínica Primavera, así como la autorización para la implementación de un proyecto académico aplicado, en las instalaciones y contexto de dicha institución.

El proyecto en mención tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de monitoreo de Condiciones ambientales en rack para mejorar la eficiencia en el área de sistemas, y será desarrollado bajo la supervisión del área de sistemas de la clínica, con el fin de aportar valor a los procesos internos y cumplir con los requerimientos académicos de mi formación profesional.

Cabe resaltar que esta solicitud se realiza con la autorización expresa del líder del área de sistemas de la Clínica Primavera, quien ha aprobado mi participación y acompañamiento en este proyecto, reconociendo los beneficios que podría aportar.

Agradezco de antemano la atención prestada a la presente solicitud, quedando atento a cualquier requerimiento adicional o documentación necesaria para formalizar este proceso.

Cordialmente,

Marco Doncel

C.C. No. 1121943400

Estudiante de Ingeniería de Sistemas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Cel: 3193419474

Correo: Madoncelt@unadvirtual.edu.co

Elaborado: Marco Doncel Est Ing Sistemas Fecha: 30-08-2025	Revisado: Miguel Rodriguez Lider de Sistemas Fecha: 30-08-2025	Aprobado: Miguel Rodriguez Lider de Sistemas Fecha: 30-08-2025
---	---	---