

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

Implementación de un sistema de monitoreo y alarma para la prevención de averías causadas por humedad y temperatura en un cuarto de máquinas de la casa B2 en el conjunto Agua Marina Club Campestre en el municipio de Flandes Tolima

Realizado por

Luis Miguel Rueda Galindo

Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de:
Ingeniero Electrónico



Grupo de Investigación MEM (Modelado-Electrónica-Monitoreo)
Facultad de Ingeniería Electrónica
División de Ingenierías

Diciembre de 2024

**Implementación de un sistema de monitoreo y alarma para la
prevención de averías causadas por humedad y temperatura en
un cuarto de máquinas de la casa B2 en el conjunto Agua Marina
Club Campestre en el municipio de Flandes Tolima**

Realizado por

Luis Miguel Rueda Galindo

Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de:
Ingeniero Electrónico

Dirigido por

Oscar Mauricio Gelvez Lizarazo

Codirigido por

David Alejandro Martínez Vásquez

Grupo de Investigación MEM (Modelado-Electrónica-Monitoreo)
Facultad de Ingeniería Electrónica
División de Ingenierías

Noviembre de 2024

Nota de aceptación:

Firma del Director

Firma del Jurado 1

Firma del Jurado 2

Bogotá D.C
Colombia
Agosto de 2024

Advertencia

La Universidad Santo Tomas no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados en el trabajo de grado, solo velara porque no se publique nada contrario al dogma ni a la moral católica y porque el trabajo no tenga ataques personales y únicamente se vea el anhelo de buscar la verdad científica.

Capitulo III -Art. 46 del Reglamento de la Universidad Santo Tomas.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi madre, quien ha estado a mi lado en cada etapa, brindándome su apoyo incondicional, siendo mi mayor inspiración y modelo a seguir en mi trayectoria como estudiante de ingeniería electrónica. También dedico este trabajo a mi fiel compañero, mi mascota Olaf, que compartió conmigo incontables horas de estudio, siendo un oyente paciente de mis prácticas y fuente de compañía y consuelo en los momentos más desafiantes.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, por su amor, apoyo constante y motivación inquebrantable a lo largo de mi carrera universitaria y en la realización de este proyecto. Sin su presencia y aliento en cada paso, este logro no habría sido posible.

Agradezco también a mis compañeros de universidad, quienes compartieron conmigo experiencias, aprendizajes y desafíos que enriquecieron tanto mi vida académica como personal. Su compañerismo y colaboración fueron fundamentales en este proceso.

Un reconocimiento especial al docente Óscar Mauricio Gelvez Lizarazo, cuyo acompañamiento y guía experta fueron pilares esenciales en la elaboración de este proyecto. Gracias a su paciencia, conocimientos y orientación, pude enfrentar con confianza cada reto y profundizar en los aspectos técnicos y prácticos necesarios para llevar a buen término este trabajo.

Índice general

Lista de contenido

ÍNDICE GENERAL	7
CAPÍTULO 1	12
Glosario	12
CAPÍTULO 2	13
Resumen	13
CAPÍTULO 3	14
Abstract.....	14
CAPÍTULO 4	15
Introducción	15
4.1 Planteamiento del problema	16
4.2 Pregunta problema	17
4.3 Justificación	17
4.4 Impacto social	19
4.5 Objetivos	20
4.4.1 Objetivo general	20
4.5.1 Objetivos específicos	20
4.6 Alcance y límite del proyecto	21
4.6.1 Alcance del proyecto	21
4.7.1 Límite del proyecto	21
CAPÍTULO 5	22
Estado del arte	22
CAPÍTULO 6	26

Marco Teórico	26
6.1 Introducción al monitoreo ambiental	26
6.1.1 Concepto de monitoreo ambiental	26
6.1.2 Sensores de humedad y temperatura	27
6.2 Adquisición de datos en tiempo real	28
6.2.1 Sistemas de adquisición de datos	28
6.2.2 Plataformas de monitoreo	29
6.2.3 Análisis de datos ambientales	30
6.3 Prevención de fallas en el cuarto de máquinas	31
6.3.1 Patrones de comportamiento y fallas	32
6.4 Implementación de sistemas de alerta basados en IoT	32
6.4.1 Concepto de IoT aplicado a la industria	33
6.4.2 Alarmas visuales y audibles	33
6.4.3 Protocolo de comunicación y seguridad IoT	34
6.5 Sistemas de emergencia y apagado automático	34
6.5.1 Apagado remoto y manual	35
 CAPÍTULO 7	 36
Diseño Metodológico	36
7.1 Revisión Bibliográfica	36
7.2 Selección de sensores	37
7.3 Desarrollo de prototipo y programa principal	37
7.4 Tratamiento y procesamiento de datos	37
 CAPÍTULO 8	 38
Resultados	38
8.1 Algoritmo General para el Monitoreo y Control Automatizado de un Cuarto de Máquinas con IoT	38
8.2 Selección de sensores	39
8.2.1 Criterios para la selección de sensores	39
8.2.2 Sensor seleccionado	40
8.2.3 Problema de Dirección I2C y Solución con Multiplexor	42
8.2.4 Distancia de Cableado y Solución	42
8.2.5 Determinación de la Ubicación de los Sensores Mediante una Cámara Térmica	43
8.2.6 Protección de los Sensores	45
8.2.7 Calibración de Sensores con un Termohigrómetro de Referencia	48

8.3	Proceso de Configuración de la Red IoT para el Monitoreo Continuo.....	48
8.3.1	Autenticación y conectividad:	48
8.3.2	Lectura de Variables Específicas y control de GPIOs en el Código	49
8.3.3	Uso de relé de estado sólido (SSR)	49
8.3.4	Creación de <i>Widget</i> para Gráficos en Tiempo Real	52
8.3.5	Alerta de temperatura crítica sonora y audible mediante Blynk.....	56
8.4	Desarrollo de prototipo <i>offline</i>	57
8.4.1	Pantalla LCD.....	57
8.4.2	Uso de la Memoria MicroSD para la Importación de Datos	59
8.4.3	Uso del RTC (Reloj en tiempo real) para Registro Temporal	60
8.4.4	Fuente de Alimentación Externa de 12V para el ESP3	61
8.4.5	Uso de Botones para encendido y apagado de motobombas.....	61
8.4.6	Sistema de alerta	61
8.4.7	Diseño Carcasa.....	62
8.5	Análisis de patrones y comportamiento.....	65
8.5.1	Regresión polinómica	66
8.5.1.1	Implementación de regresión polinómica en Python	66
8.5.2	Random Forest	69
8.5.2.1	Implementación de Random Forest en Python.....	70
8.5.3	Correlación de Kendal.....	71
8.5.3.1	Implementación de Correlación de Kendall en Python.....	71
8.6.1	Resultados de análisis sensores de temperatura	72
8.6.1.1	Tendencias de temperatura Día a Día	72
8.6.1.2	Análisis de Regresión Polinómica	73
8.6.1.3	Análisis de Random Forest Temperatura	73
8.5.4.4	Análisis de la Correlación de Kendall Temperatura.....	75
8.5.4.5	Área entre graficas	76
8.6.2	Resultados de análisis Humedad	80
8.6.2.1	Tendencias de Humedad Día a Día.....	80
8.6.2.2	Análisis de Regresión Polinómica para Humedad	81
8.6.2.3	Análisis de Random Forest para Humedad	82
8.6.2.4	Área entre graficas sensores de humedad.....	84
CAPÍTULO 9	87
Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros	87
BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXOS	94
1. Anexo A	94
1.1. Repositorio web Github	94

2.	Anexo C.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.	Manuales – Datasheet	¡Error! Marcador no definido.
3.	Anexo B.....	95
3.1.	Diagrama – Algoritmo Regresión polinómica	95
3.2.	Diagrama – Algoritmo Random forest y Correlación de Kendall.....	96
3.3.	Diagrama – Algoritmo Área bajo la curva.....	97

Pág.

Lista de tablas

<i>Tabla 1 - Criterios de selección sensor. [Autoría Propia]</i>	40
<i>Tabla 2 - Matriz de pugh para sensores. [Autoría Propia]</i>	41

Lista de figuras

<i>Figura 1 - Metodología del proyecto [Autoría Propia]</i>	36
<i>Figura 2 - Esquema 3D cuarto de máquinas. [Autoría Propia]</i>	47
<i>Figura 3 - Esquema motobomba en reposo. [Autoría Propia]</i>	51
<i>Figura 4 - Esquema motobomba activa. [Autoría Propia]</i>	51
<i>Figura 5 - Gauge [Imagen tomada de Blynk]</i>	53
<i>Figura 6 - Button or Switch [Imagen tomada de Blynk]</i>	54
<i>Figura 7 - Time Selector. [Imagen tomada de Blynk]</i>	55
<i>Figura 8 - Led de respuesta. [Imagen tomada de Blynk]</i>	55
<i>Figura 9 - PCB sensores layout. [Autoría Propia]</i>	57
<i>Figura 10 - Dimensiones carcasa frontal. [Autoría Propia]</i>	62
<i>Figura 11 - Dimensiones carcasa lateral. [Autoría Propia]</i>	62
<i>Figura 13 – Diseño Conexiones</i>	64

Lista de imágenes

<i>Imagen 1 - Inspección de tendencia térmica e inspección inicial con cámara FLIR I40. a) Inspección inicial motobomba piscina, b) Inspección inicial motobomba Casa, c) Inspección de tendencia motobomba piscina, d) Inspección de tendencia motobomba Casa. [Autoría Propia]</i>	44
<i>Imagen 2 – Posicionamiento de sensores de humedad y temperatura de referencia SHT30. a) Motobomba Piscina, b) Motobomba, c) zona fría cuarto de máquinas, d) zona Intermedia, e) temperatura ambiente. [Autoría Propia]</i>	46
<i>Imagen 3 - Conexión exitosa para el dispositivo con Blink. [Autoría Propia]</i>	49
<i>Imagen 4 - Alerta Móvil. [Autoría Propia]</i>	56
<i>Imagen 5 - Motobomba Apagada. [Autoría Propia]</i>	58
<i>Imagen 6 - Motobomba encendida. [Autoría Propia]</i>	58
<i>Imagen 7 - Lectura sensores en pantalla LCD. [Autoría Propia]</i>	59
<i>Imagen 8 - Visualización registro de almacenamiento</i>	60
<i>Imagen 10 - Sistema Integrado de Monitoreo y Procesamiento de Datos</i>	65

Lista de Diagramas

<i>Diagrama 1 - Algoritmo general para el monitoreo y control automatizado de cuarto de máquinas con IOT [Autoría Propia]</i>	38
<i>Diagrama 2 -Diseño Diagrama de conexiones</i>	63
<i>Diagrama 3 - Algoritmo regresión polinómica</i>	95
<i>Diagrama 4 - Algoritmo Random forest y Correlación de Kendall</i>	96
<i>Diagrama 5 - Algoritmo Área bajo la curva</i>	97

Lista de Algoritmos

<i>Algoritmo 1 - Configuración SSR</i>	52
<i>Algoritmo 2 - Condiciones de Alerta</i>	56
<i>Algoritmo 3 - Apagado automático</i>	61

Capítulo 1

Glosario

- **Corrosión:** Degradación de materiales, especialmente metales, causada por la reacción química con el entorno, comúnmente debido a la humedad.
- **Humedad:** Cantidad de vapor de agua presente en el aire, que puede afectar negativamente a los equipos al propiciar la corrosión y la oxidación.
- **Oxidación:** Proceso químico en el que un material, generalmente metálico, reacciona con el oxígeno, causando desgaste y pérdida de funcionalidad.
- **Cuarto de máquinas:** Espacio en un edificio donde se encuentran los equipos mecánicos y eléctricos necesarios para el funcionamiento de sistemas como bombas y otros dispositivos.
- **IoT (Internet de las Cosas):** Tecnología que conecta dispositivos y sensores a Internet, permitiendo la recopilación, intercambio y análisis de datos en tiempo real.
- **Sensores:** Dispositivos que detectan y miden condiciones ambientales, como humedad y temperatura, y envían esta información a sistemas de monitoreo.
- **Regresión polinómica:** Método estadístico que modela la relación entre variables mediante un polinomio, útil para identificar patrones en datos complejos.
- **Random Forest:** Algoritmo de aprendizaje automático basado en múltiples árboles de decisión para mejorar la precisión de las predicciones.
- **Correlación de Kendall:** Técnica estadística para medir la asociación entre dos variables, útil para identificar dependencias en los datos.
- **Monitoreo ambiental:** Proceso de observación y registro de variables como temperatura y humedad en un entorno específico para la detección de cambios críticos.
- **Alarmas visuales y audibles:** Sistemas de aviso que utilizan señales visuales y sonoras para alertar al personal sobre condiciones anormales.
- **Sistema de apagado de emergencia:** Mecanismo que permite el apagado automático o manual de equipos para protegerlos de condiciones peligrosas.
- **Calibración de sensores:** Proceso de ajuste de los sensores para garantizar mediciones precisas y fiables en el monitoreo de condiciones ambientales.
- **Prototipo offline:** Versión inicial de un sistema que funciona sin conexión a Internet, permitiendo pruebas y validaciones previas a la implementación final.
- **Mantenimiento preventivo:** Conjunto de acciones programadas para prevenir fallos y prolongar la vida útil de los equipos, basadas en la detección y corrección temprana de problemas.

Capítulo 2

Resumen

Este trabajo de grado se centra en la implementación de un sistema de monitoreo y alarma para la prevención de daños en los equipos de un cuarto de máquinas en una residencia del Club Campestre Agua Marina, en Flandes, Tolima. Las condiciones climáticas cálidas y húmedas de la región provocan problemas como la corrosión y la oxidación en los equipos de bombeo, lo que compromete su funcionamiento y la calidad del agua suministrada. El sistema propuesto tiene como objetivo detectar condiciones críticas de humedad y temperatura y alertar al personal para que tome acciones correctivas y preventivas. El trabajo incluye la instalación de sensores IoT en puntos estratégicos para un monitoreo continuo de las variables ambientales. Los datos recolectados se procesan y analizan mediante técnicas de regresión polinómica, Random Forest y correlación de Kendall, con el fin de evaluar el impacto de las temperaturas de las motobombas en relación con la temperatura general del cuarto de máquinas. Finalmente, el sistema genera alertas visuales y audibles y cuenta con un mecanismo de apagado de emergencia, tanto manual como automático. Además, el trabajo destaca los beneficios económicos y de salud pública. El documento detalla los criterios de selección de sensores, la configuración de la red IoT, la protección y calibración de los dispositivos, y el desarrollo de un prototipo *offline*.

Capítulo 3

Abstract

This thesis project focuses on the implementation of a monitoring and alarm system for the prevention of damage in the equipment of a machine room in a residence of Club Campestre Agua Marina, in Flandes, Tolima. The hot and humid climatic conditions of the region cause problems such as corrosion and oxidation in the pumping equipment, which compromises its operation and the quality of the water supplied. The proposed system aims to detect critical humidity and temperature conditions and alert personnel to take corrective and preventive actions. The project includes the installation of IoT sensors at strategic points for continuous monitoring of environmental variables. The collected data is processed and analyzed using polynomial regression, Random Forest and Kendall correlation techniques to evaluate the impact of motor pump temperatures in relation to the overall temperature of the machine room. Finally, the system generates visual and audible alerts and has an emergency shutdown mechanism, both manual and automatic. In addition, the project highlights the economic and public health benefits. The document details the criteria for sensor selection, IoT network configuration, device protection and calibration, and the development of an *offline* prototype.

Capítulo 4

Introducción

Los cuartos de máquinas en los conjuntos residenciales de Flandes, ubicados en el departamento de Tolima, donde se lleva a cabo el tratamiento de piscinas y el control de presión del agua potable para viviendas residenciales, poseen como principal componente la bomba hidráulica para aumentar la presión del agua. La bomba presurizada, bomba sumergible o grupo de presión desempeña un papel crucial al incrementar la presión del agua en un sistema de suministro. Su operación se basa en la conversión de la energía mecánica en energía hidráulica, logrando así aumentar tanto la presión como el caudal del agua dentro de una instalación. Estas bombas son comúnmente empleadas en entornos residenciales, edificios comerciales e industriales para asegurar un nivel de presión recomendado por su fabricante. Su versatilidad las convierte en una herramienta fundamental para mantener un suministro de agua eficiente en diversos contextos.

La inspección regular es clave para detectar problemas antes de que se conviertan en fallas costosas. Se debe examinar la bomba, el regulador de voltaje, el suministro de agua y sus componentes, como el cable de alimentación y las conexiones eléctricas, en busca de daños. En regiones como Flandes, el principal inconveniente suele ser los altos niveles de humedad, que resultan en óxido y corrosión, afectando directamente la regulación de la presión del agua y la calidad del agua provista por la bomba y los equipos subsecuentes.

Una posible solución para las bombas sumergibles o presurizadas es limpiar la bomba y los conductos de entrada y salida de manera regular para eliminar cualquier acumulación. Es importante utilizar herramientas y productos de limpieza adecuados para evitar dañar las superficies. Aunque esta medida no será una solución definitiva si el problema de la humedad persiste, la bomba puede acumular sedimentos y depósitos con el tiempo, lo que afectará su rendimiento.

Para este problema, se plantea una solución implementando un monitoreo con sensores instalados en ubicaciones clave para los equipos. Este monitoreo constante de la humedad proveniente del ambiente en el cuarto de máquinas tendrá en cuenta un margen límite de humedad y temperatura para los equipos. Si se supera este límite, se generará un aviso al encargado respectivo para su revisión y corrección inmediata.

4.1 Planteamiento del problema

La problemática en los cuartos de máquinas de los conjuntos residenciales, encargados de la distribución correcta del agua en viviendas y la preservación de la sanidad en piscinas en el municipio de Flandes, se manifiesta por las condiciones climáticas cálidas de la región. Específicamente, la corrosión y oxidación de elementos clave en el funcionamiento de los equipos impactan negativamente la eficiencia, durabilidad y seguridad de estos.

Un desafío para los habitantes del municipio es la humedad y el incremento en la temperatura en espacios reducidos con maquinaria, lo que conlleva al aumento en la probabilidad de contaminación de los usuarios por la concentración de sustancias tóxicas en el agua, debidas a óxidos en las tuberías. Esto podría subsanarse identificando condiciones extremas que potencian estas problemáticas.

La confianza entre los propietarios se manifiesta de manera crítica al descuidar el mantenimiento preventivo en los cuartos de máquinas. La arraigada creencia en la resistencia de los equipos conduce a la omisión de prácticas preventivas. Esta confianza excesiva, sin embargo, ha emergido como un factor determinante en las fallas imprevistas de las máquinas, forzando intervenciones costosas y urgentes de mantenimiento correctivo.

En términos de gastos y costos asociados, el plan de mantenimiento preventivo mitigará los riesgos económicos. Al basarse en datos recopilados durante el monitoreo, los propietarios podrán tomar decisiones informadas sobre cuándo y qué tipo de mantenimiento realizar. Esto no solo reducirá los costos asociados con intervenciones correctivas inesperadas, sino que también permitirá una planificación más efectiva de los gastos. La inversión en un monitoreo continuo se traduce en una gestión financiera más eficiente y en un uso más racional de los recursos, lo que, a su vez, contribuirá a mantener la confianza de los propietarios en la integridad de los sistemas.

Según estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se ha destacado la importancia de prevenir la corrosión en los sistemas de agua potable, ya que puede afectar a varios parámetros del agua, como el color, el olor, el sabor, la turbiedad, el pH, la dureza, los sólidos disueltos, los sólidos en suspensión, los cloruros y los sulfatos. Esto demuestra el peligro inminente que conlleva la administración de esta agua contaminada en las residencias privadas. Las fuentes más comunes de exposición a contaminantes por óxido para los propietarios son la ingestión de agua de consumo humano contaminada y de alimentos que han sido lavados con agua contaminada.

4.2 Pregunta problema

¿Cómo se puede implementar un sistema de monitoreo y alarma basado en la recolección y análisis de datos de humedad y temperatura en un cuarto de máquinas en el Club Campestre Agua Marina, ubicado en el municipio de Flandes, Tolima, para actividades de mantenimiento preventivo relacionadas con las variables de humedad y temperatura?

4.3 Justificación

El monitoreo de datos ambientales en cuartos de máquinas permite detectar la corrosión en sus etapas iniciales, lo que facilita la implementación de medidas correctivas menos costosas que la reparación o el reemplazo del equipo principal del grupo de presión. Se sabe que el problema de la corrosión es de gran magnitud; en términos económicos, se estima que aproximadamente el 5% del producto interior bruto de un país industrializado se gasta para prevenir la corrosión y para mantener o reemplazar los productos afectados por las reacciones de corrosión [1].

La implementación de un monitoreo de datos ambientales en este trabajo se justifica por los beneficios que puede brindar, como atenuar los gastos implicados en la reparación de equipos averiados por falta de mantenimiento debido al óxido y la corrosión. Como lo explica un estudio realizado por la Universidad Central del Ecuador, el fenómeno de la corrosión y los impactos que esta puede generar se deben a las características ambientales y al material de las tuberías con el que entra en contacto, causando así la degradación de la infraestructura y llevando a cabo costosas reparaciones en un corto periodo de tiempo en maquinaria diseñada para tener una prolongada vida útil [2]. Esta falla, así como un grupo selecto de fallas, se presenta de la siguiente manera:

Caza de fallas

Corrosión de componentes metálicos: La humedad en el aire puede acelerar el proceso de corrosión en componentes metálicos como los motores eléctricos, las tuberías y otras partes de las motobombas. Con el tiempo, esto puede causar debilitamiento estructural, fugas y eventualmente fallas en los equipos.

Formación de condensación: Las fluctuaciones de temperatura pueden provocar la formación de condensación en las superficies frías dentro del cuarto de máquinas. Esta condensación puede acumularse en componentes eléctricos y electrónicos, como tableros de control y conexiones, lo que aumenta el riesgo de cortocircuitos y fallos eléctricos.

Degradación de materiales no metálicos: La humedad puede causar la degradación de materiales no metálicos, como plásticos, sellos y juntas. Esto puede provocar fugas en las conexiones de las tuberías, pérdida de estanqueidad y eventualmente fallos en el sistema.

Pérdida de aislamiento eléctrico: La humedad puede comprometer el aislamiento de los cables eléctricos y los componentes eléctricos, lo que aumenta el riesgo de cortocircuitos y fallos en el sistema eléctrico.

Crecimiento de moho y hongos: La humedad excesiva en el aire puede crear un ambiente propicio para el crecimiento de moho y hongos en las superficies dentro del cuarto de máquinas. Esto no solo puede dañar los materiales, sino también afectar la calidad del aire y la salud de los trabajadores.

Sin embargo, el cuidado contra la corrosión no solo tiene beneficios económicos, sino que también tiene un impacto positivo en la salud pública. Al mantener la calidad del agua potable, se está protegiendo a personas de todas las edades, desde los más pequeños hasta los adultos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) destaca la importancia de esta medida, resaltando cómo la prevención de la corrosión garantiza que el agua mantenga sus propiedades esenciales, como su transparencia, sabor y olor agradables, así como su equilibrio de pH y dureza adecuados [3]. Estos esfuerzos no solo mejoran la calidad del agua, sino que también reducen la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua. La diarrea, por ejemplo, es menos frecuente cuando se mantiene la integridad del suministro de agua. Proteger el agua potable de la corrosión es crucial para prevenir estas enfermedades y garantizar la salud pública.

La accesibilidad económica del monitoreo de datos ambientales en cuartos de máquinas lo convierte en una herramienta poderosa al alcance de una amplia gama de personas. No solo grandes empresas o instituciones con recursos considerables pueden beneficiarse de sus ventajas, sino también pequeñas empresas, comunidades e incluso individuos. Si bien el bajo costo es un factor determinante para la accesibilidad, es importante destacar que el valor real del monitoreo de datos ambientales reside en sus beneficios a largo plazo [4]. La prevención de daños mayores, la reducción de costos operativos y la salud pública generan un retorno de la inversión significativo.

4.4 Impacto social

La Población beneficiada por el monitoreo de datos ambientales en el Conjunto Agua Mariana en Flandes posee un perfil definido por:

Habitantes: Propietarios, viajeros y turistas que pernoctan en el conjunto.

Número de personas: Entre 400 y 640 personas, considerando un promedio de 5 a 8 personas por casa y una ocupación total o parcial de las 80 casas.

Con base a este propósito de inversión en infraestructura como lo es el monitoreo de datos ambientales para evitar la contaminación y degradación de la estructura que transporta y suministra el agua a viviendas en el conjunto agua maría. Tendrá las siguientes implicaciones:

Reducción de costos: Se minimizan los gastos en reparaciones y mantenimiento de equipos por daños causados por la corrosión.

Prolongación de la vida útil de los equipos: Los equipos duran más tiempo, lo que reduce la necesidad de inversiones en nuevos equipos.

Ahorro en el consumo de agua: La detección de fugas y averías permite un uso más eficiente del agua.

Agua potable segura: El monitoreo garantiza la calidad del agua potable, previniendo enfermedades gastrointestinales y otras relacionadas con la contaminación del agua.

Prevención de enfermedades: Se reduce el riesgo de enfermedades respiratorias y dermatológicas asociadas a la humedad y la presencia de moho.

Ambiente más saludable: La detección y control de la corrosión evita la liberación de contaminantes al aire y al agua.

Cumpliendo con el objetivo de desarrollo sostenible de la ONU, Objetivo 6, que busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible, este trabajo plantea medidas necesarias para garantizar el acceso universal al agua potable segura y asequible de aquí a 2030. Entre estas medidas se encuentran las inversiones en infraestructuras e instalaciones de saneamiento, la protección y el restablecimiento de los ecosistemas relacionados con el agua, así como la educación en materia de higiene [5]. Basado en este propósito, la inversión en infraestructura, como el monitoreo de datos ambientales, es crucial para evitar la contaminación y degradación de la estructura que transporta y suministra el agua a las viviendas en el conjunto Agua Marina.

4.5 Objetivos

4.4.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo y alarma para la prevención de averías causadas por humedad y temperatura en el cuarto de máquinas de una casa del Club Campestre Agua Marina, ubicado en el municipio de Flandes, Tolima, mediante la instalación de sensores de humedad y temperatura fundamentados con IoT, con el fin de mitigar los daños y riesgos en las máquinas causados por humedad, oxidación y temperatura.

4.5.1 Objetivos específicos

- Desarrollar un sistema para la adquisición constante de datos de humedad y temperatura en el cuarto de máquinas, mediante la implementación de sensores que permitan un monitoreo continuo de las condiciones ambientales.
- Identificar patrones de comportamiento en datos de humedad y temperatura por medio de métodos como regresión, correlación lineal y modelos de series temporales para la prevención de averías en el cuarto de máquinas.
- Implementar un sistema de alarmas basado en alertas visuales y audibles fundamentadas en herramientas IoT, para condiciones inadecuadas de temperatura y humedad como advertencia para el personal técnico operativo en el cuarto de máquinas.
- Construir un sistema de apagado automático y manual de emergencia a distancia del cuarto de máquinas por medio del sistema de alarma, para posible alerta no atendida por el operador.

4.6 Alcance y límite del proyecto

4.6.1 Alcance del proyecto

El proyecto se centra en la implementación de un sistema de monitoreo de datos ambientales en los cuartos de máquinas de conjuntos residenciales en Flandes, con el fin de controlar la oxidación y corrosión, especialmente en los equipos de bombeo hidráulico utilizados para el tratamiento de piscinas y la presión del agua potable. Se propone instalar sensores que monitoreen constantemente la humedad y la temperatura ambiental en estos espacios críticos. Además, se establecerá un margen límite de humedad y temperatura para los equipos y se generarán alertas automáticas si se superan estos límites, para permitir una revisión y corrección inmediata por parte del personal operativo.

4.7.1 Límite del proyecto

Aunque el monitoreo de datos ambientales ofrece una solución efectiva para la detección temprana de corrosión y oxidación, no es una solución definitiva para resolver estos problemas. Si bien puede ayudar a prevenir daños mayores y costosos, no aborda directamente la causa principal de la corrosión, que en este caso se atribuye a las condiciones climáticas cálidas y húmedas de la región de Flandes. Por lo tanto, el proyecto no aborda la modificación de las condiciones ambientales, como la humedad y la temperatura, que son factores desencadenantes de la corrosión. El monitoreo de datos ambientales puede requerir una inversión inicial significativa en equipos, tecnología.

Factores Limitados: El sistema no abordará otros posibles factores de averías, como problemas mecánicos, eléctricos o químicos. Su enfoque se limita únicamente a la prevención de averías causadas por la humedad y la temperatura.

Intervención Limitada: Las acciones preventivas se basarán en alertar al personal técnico para que tomen medidas correctivas oportunas. No se contempla la intervención directa del sistema en la reparación de las averías.

Alcance Geográfico: El proyecto está limitado al cuarto de máquinas de una casa específica dentro del Club Campestre Agua Marina y no se aplicará a otros cuartos de máquinas o ubicaciones dentro del club.

Capítulo 5

Estado del arte

En una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica, se ha identificado un interés creciente en el ámbito del monitoreo con sensores. Este interés se ha reflejado en numerosos trabajos previos que abordan la importancia de implementar sistemas de monitoreo para el control de variables ambientales a distancia, medición de los efectos ambientales en propiedades dinámicas y desarrollo de un sistema inteligente de detección inteligente y alarma basado en una red Wifi.

A continuación, se presentarán casos de éxito en la implementación y estudio de monitoreo y captación de datos. En el sector ambiental, en Ucrania, se llevó a cabo un estudio exitoso para implementar un sistema de monitoreo ambiental basado en una red inalámbrica de sensores estacionarios. El enfoque incluyó el desarrollo de un esquema funcional para un sistema multisensorial de vigilancia ecológica. Entre las tareas clave abordadas estaban la creación de un modelo generalizado para organizar el sistema de vigilancia ecológica, la consideración de las relaciones entre las partes y la toma de decisiones sobre la organización de sistemas regionales en condiciones de multicriterio e incertidumbre. Este enfoque integral permitió el éxito en la implementación del monitoreo ambiental en el sector [6].

Continuando con el sector ambiental, se llevó a cabo un estudio en la provincia de Liaoning centrado en la verificación de datos de control automático de fuentes de contaminación en empresas estatales. Los departamentos de protección ambiental enfrentan desafíos para establecer un sistema científico de control de emergencias en la construcción de nuevas ciudades y gestionar accidentes de contaminación en áreas rurales en desarrollo. Se implementó un sistema basado en la arquitectura de sensores web, sincronizando datos con el sistema nacional de monitoreo de fuentes de contaminación en línea. Este enfoque mejoró significativamente la eficiencia del personal de vigilancia ambiental hasta en un 6,74% [7].

Adentrándose en los nuevos diseños de monitoreo, se introduce un innovador diseño de monitoreo ambiental que consiste en un dispositivo portátil extendido con una red de sensores inalámbricos conectados a través de LoRa-WAN (red de área amplia de largo alcance). Este sistema se implementó en un extenso campo agrícola real para analizar diversos parámetros ambientales. Estos sensores, diseñados para medir características ambientales clave, son esenciales para que los agricultores supervisen el crecimiento de sus plantas. La clave reside en el desarrollo de sensores compactos y económicos, lo que destaca la importancia de esta tecnología en entornos agrícolas de gran escala [8].

Asimismo, se llevaron a cabo trabajos preliminares en la isla Bidong para establecer un sistema de monitoreo ambiental utilizando la red de comunicación LoRa. Se implementaron nodos de sensores que transmiten datos a una puerta de enlace LoRa ubicada a 23 km de distancia. Estos nodos contienen sensores ambientales que permiten la recopilación remota de información ambiental en tiempo real. Los resultados de RSSI y SNR se utilizaron para evaluar la calidad de la señal y su rendimiento en la transmisión de datos desde los nodos hasta la puerta de enlace. En términos de investigación, se propone la implementación de una nube para el sistema IoT, utilizando plataformas como ThingSpeak u otras nubes abiertas, para el análisis, almacenamiento y procesamiento en línea de los datos recopilados [9].

Con el propósito de analizar una nueva forma de monitoreo de datos, la Universidad Financiera de Henan propone un sistema de monitorización del entorno ecológico basado en la tecnología IoT. Este sistema se organiza en subclusters, cada uno adaptado al tamaño y características de la zona de monitorización. Cada subcluster utiliza la autoorganización para la comunicación, con nodos sensores encargados de seleccionar, recoger, almacenar y filtrar datos relevantes en su área. Para evitar la parálisis parcial por fallos en el nodo cabeza de clúster, se introduce un nodo agente móvil. Se emplea un esquema de gestión móvil basado en la ruta óptima seleccionada mediante la tabla de localización espaciotemporal bidimensional del nodo cabeza de clúster fallido, combinado con el método de proyección de gradiente ROSEN. Los experimentos de simulación y análisis matemático demuestran la eficacia de la técnica, destacando su capacidad para cambiar el control entre diferentes tipos de datos según los requisitos de supervisión, junto con características como el ahorro de energía, alta eficiencia y fácil gestión [10].

Para completar el uso de IoT, en el siguiente estudio se presentó un sistema de almacenamiento de datos para la monitorización medioambiental, diseñado por un consorcio blockchain con el objetivo de asegurar el almacenamiento de datos de manera segura. Este enfoque resuelve el riesgo de corrupción del servidor en el almacenamiento centralizado mediante el uso de almacenamiento distribuido. Además, se implementa tecnología de cifrado y un proceso de consenso para verificar los datos almacenados, evitando así posibles manipulaciones o falsificaciones de los datos de monitoreo. La interfaz gráfica de la página web diseñada facilita la realización de operaciones como la generación de bloques, consulta de datos y otras funciones a través de un programa de fondo, simplificando así el proceso de operación para el cliente [10].

Por otro lado, en China se introdujo una investigación exitosa frente al uso del microordenador STC89C52 de un solo chip como controlador principal, utilizando la tecnología de comunicación WiFi para completar el diseño y desarrollo del sistema de monitorización medioambiental. Este sistema incluye cinco módulos principales: módulo de pantalla LCD, módulo de sensor, módulo de alarma acústico-óptica, módulo de selección de umbral y módulo de comunicación WiFi, para completar conjuntamente la recogida, almacenamiento, visualización, análisis y transmisión de datos medioambientales. Después de muchas pruebas, el sistema pudo funcionar de forma estable durante mucho tiempo y obtener datos precisos de forma constante. Al mismo tiempo, tiene las características de operación simple, fuerte independencia y un gran valor práctico [11].

El artículo [12] aborda el uso de dispositivos IoT para aplicaciones de monitoreo ambiental mediante un enfoque de computación voluntaria. Este concepto implica que los dispositivos IoT comparten recursos (memoria, capacidad de procesamiento, red, etc.) para realizar tareas colaborativas, especialmente en condiciones donde los recursos son limitados además de diseñar un Sistema de Monitoreo Ambiental basado en IoT (IoT-EMS) que mida parámetros atmosféricos como temperatura, humedad, CO y CO₂, utilizando sensores adecuados. Los datos recopilados se almacenan y analizan en una base de datos centralizada (MySQL).

El siguiente artículo [13] aborda los desafíos ambientales críticos como la calidad del aire, la contaminación del agua, y la contaminación por radiación, destacando la necesidad de monitoreo ambiental inteligente (SEM) para lograr sostenibilidad y bienestar social. Explora cómo los avances en Internet de las cosas (IoT), sensores modernos y aprendizaje automático han transformado el monitoreo ambiental. Este artículo destaca cómo la integración de IoT, sensores avanzados y aprendizaje automático ha convertido al monitoreo ambiental en un sistema verdaderamente inteligente. Además, enfatiza la importancia de metodologías robustas y estándares claros para garantizar resultados precisos y sostenibles en aplicaciones

ambientales críticas.

la importancia de la agricultura para la vida humana y cómo el Internet de las Cosas (IoT) está ayudando a enfrentar desafíos como el aumento de la demanda de alimentos para 2050. Plantea que el IoT permite un monitoreo continuo y detallado de cultivos, suelo y microclima, generando datos en tiempo real para optimizar el uso de recursos como agua y nutrientes. Esto no solo mejora la productividad, sino que también reduce desperdicios y aumenta la sostenibilidad. El enfoque principal del documento [14], está en el desarrollo del IoT agrícola (Ag-IoT), revisando sensores, actuadores y sistemas de procesamiento de datos. Aunque esta tecnología ha crecido rápidamente, aún se encuentra en etapas iniciales para aplicaciones comerciales a gran escala. También destaca que la capa de percepción del IoT (donde están los sensores y actuadores) enfrenta retos como condiciones ambientales adversas y falta de infraestructura energética.

Este artículo [15], se centra en los desafíos del monitoreo ambiental en medio de la crisis climática global, destacando que las soluciones actuales suelen ser costosas, complejas de instalar y poco prácticas para crear redes densas de monitoreo. Como alternativa, los sensores de bajo costo (LCS) se presentan como una opción viable para mejorar la resolución espacial y temporal de las mediciones, aunque requieren calibraciones frecuentes para garantizar datos confiables debido a su sensibilidad a las condiciones ambientales.

La investigación evalúa tres algoritmos de selección de características (FFS, BE y EFS) para identificar los factores que afectan la calidad de los datos de estos sensores. Además [15], combina los datos del sensor con factores ambientales a través de fusión de datos, utilizando regresión lineal (LR) y redes neuronales artificiales (ANN) para desarrollar modelos de calibración. Los resultados muestran que el sensor cairclipO3/NO2 mejora significativamente su precisión tras la calibración ($R^2=0.83$), mientras que el sensor cairclipNO2 no logra mejoras sustanciales. Esto resalta la importancia de calibrar adecuadamente los LCS y demuestra cómo técnicas como la fusión de datos y la selección de características pueden mejorar la calidad de los datos para aplicaciones de monitoreo ambiental.

el impacto de la explosión demográfica y la contaminación industrial en la calidad del aire, especialmente en espacios interiores donde las personas pasan la mayor parte de su tiempo. Dado que la exposición a un aire de mala calidad puede causar diversas enfermedades, como asma o cáncer, el estudio [16], propone un dispositivo de monitoreo y control de la calidad del aire basado en la tecnología IoT. Esta solución permite un monitoreo continuo y en tiempo real de las condiciones ambientales sin necesidad de intervención humana, lo que la hace eficiente y menos costosa. La plataforma IoT propuesta no solo asegura una mejor calidad del aire en los espacios interiores, sino que también facilita un flujo de trabajo eficiente sin papel, lo que la hace adecuada para entornos ocupados donde la interacción humana directa debe reducirse. El sistema destaca por su capacidad de operar de manera autónoma, contribuyendo a la salud y el bienestar de las personas al mantener condiciones óptimas de calidad ambiental.

En comparación con los proyectos que se han centrado en áreas ambientales más amplias o sectores industriales, este proyecto destaca por su enfoque más específico y localizado. Mientras algunos proyectos abordan la vigilancia ambiental en grandes extensiones geográficas, el objetivo particular del monitoreo en cuartos de máquinas residenciales permite una adaptabilidad precisa a las necesidades locales. Aunque diversos proyectos se han enfocado en implementar tecnologías específicas, como LoRaWAN o Blockchain, la integración de estas innovaciones en nuestro proyecto de monitoreo de datos en cuartos de máquinas residenciales podría resultar esencial para fortalecer la seguridad y eficiencia del monitoreo, ampliando significativamente su impacto y alcance.

La combinación de un enfoque específico de monitoreo en cuartos de máquinas residenciales y la integración de tecnologías avanzadas subraya la singularidad y la efectividad del proyecto. Esta convergencia estratégica no solo resuelve problemas ambientales locales, sino que también asegura que estemos a la vanguardia en términos de seguridad y eficiencia, destacando así la contribución directa del proyecto al bienestar de la comunidad.

Capítulo 6

Marco Teórico

6.1 Introducción al monitoreo ambiental

Hoy en día, tanto en la industria como en los laboratorios de investigación, existe una demanda creciente por herramientas que puedan satisfacer las necesidades de un entorno altamente competitivo. Entre estas herramientas destacan los sistemas de monitoreo y adquisición de datos, los cuales permiten la recolección, almacenamiento y procesamiento de información sobre diferentes parámetros ambientales o de operación en tiempo real. Dichos sistemas brindan la posibilidad de realizar diversas tareas simultáneamente, así como de controlar procesos a través de un ordenador personal, lo que optimiza el manejo de datos.

Estas plataformas no solo ayudan a ahorrar tiempo y dinero, sino que también minimizan errores sistemáticos, lo que las convierte en una solución eficaz para el seguimiento continuo de variables. Otra ventaja significativa es la capacidad de crear interfaces gráficas personalizadas que emulan instrumentos físicos, facilitando la visualización y análisis de las mediciones realizadas.

En este contexto, los sistemas de adquisición de datos (SAD) se han implementado de manera generalizada para monitorear una amplia variedad de magnitudes físicas, como la temperatura, la humedad relativa, la expansión térmica, entre otras, así como se comenta en el artículo [17]. Estas variables son fundamentales tanto en procesos industriales como en investigaciones científicas. Además, los instrumentos utilizados en estos sistemas deben ser calibrados periódicamente para asegurar la precisión de las mediciones, y existen varios métodos para lograrlo.

Un enfoque comúnmente empleado para la calibración de instrumentos de temperatura es el método del hielo seco, que utiliza una mezcla de hielo y solución salina para crear un ambiente térmico estable, ideal para la verificación y ajuste de los sistemas de medición.

6.1.1 Concepto de monitoreo ambiental

El monitoreo ambiental se define como un proceso continuo de observación, medición y evaluación enfocado en propósitos específicos. Se trata de una herramienta clave en la evaluación de impactos ambientales y en la implementación de programas de control y seguimiento. Los programas de monitoreo deben contar con objetivos claramente definidos y, aunque comúnmente se basan en mediciones directas, pueden automatizarse mediante el uso de dispositivos electrónicos avanzados. La profundidad y el alcance de estos programas dependen tanto de la cantidad y experiencia del personal como de los recursos disponibles para llevar a cabo el monitoreo con mayor o menor nivel de detalle.

Una característica fundamental del monitoreo ambiental es su enfoque sistemático y su periodicidad. En algunos casos, cuando se dispone de amplios recursos, estos programas pueden convertirse en estudios de larga duración, e incluso en investigaciones de carácter indefinido [18]. Además, el monitoreo ambiental está estrechamente relacionado con los Sistemas de Gestión Ambiental Empresarial, en los cuales desempeña un papel crucial al verificar que se implementen las medidas preventivas y correctivas necesarias. También

ayuda a medir los impactos que son difíciles de predecir y a detectar desviaciones que puedan requerir la introducción de nuevas medidas correctoras. El monitoreo ambiental no solo es relevante para garantizar la estabilidad y sostenibilidad de los procesos industriales, sino también para mantener una buena relación entre las empresas, las autoridades gubernamentales y las comunidades locales.

6.1.2 Sensores de humedad y temperatura

Un sensor de humedad, también conocido como higrómetro, es un dispositivo diseñado para detectar agua presente en el aire o en diversas superficies. Este tipo de sensor es fundamental en meteorología, pero su uso ha ido expandiéndose a sistemas de climatización tanto en entornos domésticos como comerciales. Además, muchos de estos sensores también incluyen la medición de temperatura, ya que ambos valores son esenciales para calcular la sensación térmica. La información captada por el sensor, en términos de humedad y temperatura, se convierte en una señal eléctrica interpretable, y el material semiconductor utilizado permite obtener mediciones precisas; aunque la humedad del aire no afecta directamente la vida cotidiana de las personas, más allá del confort, tiene una importancia significativa en determinados procesos industriales.

Estos sensores son fáciles de instalar y permiten ajustar la frecuencia de las lecturas, lo que posibilita monitorear los cambios de temperatura en intervalos definidos. Para su instalación, solo es necesario verificar que el área cuente con la cobertura adecuada, lo cual se puede comprobar solicitando un estudio previo de la cobertura en el sitio donde se pretende colocarlos. Un aspecto clave para la eficacia de estos sensores es la capacidad de visualizar los datos en una plataforma unificada, lo que facilita al operador acceder a información y estadísticas de todos los sensores instalados en distintos puntos, como tanques o silos, desde una sola pantalla.

La elección de sensores para monitorear variables como la humedad y la temperatura depende en gran medida de sus especificaciones técnicas, las cuales deben alinearse con las necesidades específicas del sistema como lo indica [19], algunos factores clave a considerar en la selección de sensores incluyen:

- **Precisión:** Este parámetro define el margen máximo de error aceptable en una medición. Aunque suele asociarse con la linealidad y la histéresis del sensor, algunos fabricantes lo utilizan de forma más generalizada. Es fundamental entender cómo se mide la precisión en el contexto del sensor en particular.
- **Repetibilidad:** Se refiere a la capacidad del sensor para producir los mismos resultados bajo las mismas condiciones operativas, cuando se mide varias veces en un corto período de tiempo. Un buen sensor mostrará mínimas variaciones en sus mediciones, lo que asegura mayor confiabilidad en los datos obtenidos.
- **Tiempo de respuesta:** Este factor mide la rapidez con la que el sensor reacciona ante un cambio en la variable medida, como un incremento o disminución en la humedad. La temperatura ambiental, el flujo de aire y el tipo de filtro en uso influyen directamente en este parámetro, por lo que es importante tenerlos en cuenta.
- **Tamaño:** El espacio disponible y la aplicación específica determinarán el tamaño adecuado del sensor. Un sensor grande podría ser inapropiado en entornos donde el espacio es limitado o donde se requieren dispositivos compactos.
- **Rango de operación:** Es esencial que el sensor tenga un intervalo de medición adecuado al proceso que va a monitorear. Utilizar un sensor con un rango muy amplio en

procesos de cambios sutiles puede generar resultados poco precisos y no reflejar correctamente las variaciones necesarias.

- **Resistencia a contaminantes y condiciones extremas:** En situaciones donde el ambiente es hostil, como en presencia de polvo, humedad elevada o temperaturas extremas, es importante elegir sensores diseñados para soportar dichas condiciones. De ser necesario, también se pueden utilizar filtros o protecciones adicionales para prolongar la vida útil del sensor y mejorar su desempeño en estos entornos.

6.2 Adquisición de datos en tiempo real

Un SAD obtiene valores de variables físicas mediante el uso de sensores. Los sensores son dispositivos electrónicos con los que a partir de la energía del medio donde se mide, se obtiene una señal de salida transducible que es función de la variable medida, en otras palabras son dispositivos capaces de relacionar los cambios de una señal de salida de origen eléctrico que dependen de los cambios de una señal de entrada, planteando que la digitalización de las señales permite a los sistemas de adquisición de datos realizar un procesamiento eficiente, ya sea en sistemas computacionales complejos o en dispositivos compactos, diseñados para aplicaciones específicas. Además del procesamiento, estos sistemas son capaces de registrar los datos de forma continua o a intervalos establecidos, creando bases de datos que permiten análisis posteriores o la evaluación del rendimiento de procesos a largo plazo.

Diversos sensores, en muchos casos, ofrecen una señal análoga de salida; las señales análogas presentan desventajas como la susceptibilidad de ser modificadas de manera no deseada mediante ruido; para un mejor manejo de datos se prefieren las señales digitales, que presentan ventajas notables con respecto a las análogas, disminuyendo el ruido al máximo [20].

En algunos casos, los SAD también pueden generar gráficos, informes o alarmas cuando los valores monitoreados se salen de los rangos normales, contribuyendo a la toma de decisiones informada y en tiempo real. Estas tarjetas tienen aplicaciones en diversos campos, como el monitoreo de variables biomédicas, la seguridad y el control industrial, entre otros. El avance de los sistemas de adquisición de datos modernos ha sido clave en la evolución de la instrumentación de procesos industriales, e incluso ha impulsado el desarrollo de la instrumentación virtual en las últimas dos décadas [21].

Este desafío ha dado lugar a la creación de prototipos de sistemas de adquisición de datos compactos, confiables, económicos y fáciles de usar, ideales para aplicaciones en campo donde el espacio limitado o la infraestructura impiden el uso de computadores convencionales.

6.2.1 Sistemas de adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos (SAD) representan un conjunto de herramientas tecnológicas que se encargan de recoger, procesar y almacenar información proveniente de diversos dispositivos de medición. Estos sistemas se utilizan para registrar una amplia gama de parámetros físicos, como la temperatura, la presión, la humedad, la velocidad, entre muchos otros. Los sensores, que son una parte esencial del sistema, generan señales analógicas en respuesta a estos parámetros, las cuales posteriormente son convertidas en datos digitales

que pueden ser interpretados por equipos informáticos o sistemas de control.

Existen diversos tipos de sistemas de adquisición de datos, diseñados para adaptarse a diferentes necesidades y aplicaciones, cada uno con características específicas que optimizan su uso en entornos particulares, en base en [22], se pueden tener en cuenta los siguientes tipos de SAD:

- **Módulos Externos de Adquisición:**

Estos dispositivos, que pueden presentarse en forma de gabinetes, varían según el proveedor y modelo. Generalmente, incluyen entradas y salidas tanto analógicas como digitales, así como contadores. Sin embargo, no llevan a cabo funciones lógicas entre las señales, lo que les impide operar de manera independiente. Se conectan a una computadora a través de interfaces estándar o específicas. Si se necesita control, este debe ejecutarse desde la computadora, lo que representa un riesgo: en caso de pérdida de comunicación, se pierde también el control del sistema.

- **Módulos Externos con Control Integrado**

Estos dispositivos no solo capturan datos analógicos y digitales, sino que también pueden ejercer control sobre el sistema de forma autónoma, sin depender de la computadora. El algoritmo de control está integrado en el propio dispositivo, lo que significa que, si se interrumpe la comunicación, el control sigue activo.

- **Sistemas de Adquisición y Control en Tiempo Real**

Estos sistemas, que suelen ser externos y propietarios, están diseñados para aplicaciones críticas. Incorporan un sistema operativo de tiempo real y, a menudo, un lenguaje de programación propio. Mantienen una conexión con la computadora para transmitir actualizaciones al operador, pero la gestión en tiempo real se lleva a cabo exclusivamente a través del sistema de adquisición de datos, asegurando así una respuesta inmediata ante cualquier cambio en los parámetros monitoreados.

6.2.2 Plataformas de monitoreo

Las plataformas de monitoreo son entornos software que permiten la recolección, visualización y análisis de datos provenientes de diversos sensores y dispositivos. Estas plataformas son fundamentales en la gestión y el control de sistemas en tiempo real, ya que facilitan la interpretación de datos complejos a través de interfaces intuitivas. Existen múltiples tipos de plataformas, cada una diseñada para cumplir con requisitos específicos y adaptarse a distintos sectores industriales, desde la agricultura y la salud hasta la manufactura y la energía.

Las características esenciales de una plataforma de monitoreo incluyen la capacidad de integrar diferentes tipos de hardware, como sensores, controladores y módulos de comunicación. Además, deben ser escalables, permitiendo la incorporación de nuevos dispositivos conforme se expandan las necesidades del sistema. La conectividad es otro aspecto crucial; muchas plataformas utilizan protocolos estándar, como MQTT o HTTP, para garantizar la interoperabilidad entre los componentes del sistema [23].

El hardware de monitoreo, que abarca desde sensores hasta microcontroladores, también juega un papel vital. Estos dispositivos son responsables de la recopilación de datos en el

campo y su transmisión a la plataforma, donde se procesan y analizan. La selección del hardware adecuado es esencial para garantizar la precisión y la fiabilidad de las mediciones, lo que a su vez impacta directamente en la calidad del monitoreo y el control de los procesos.

6.2.3 Análisis de datos ambientales

El análisis de datos ambientales se refiere a la utilización de diversas técnicas y herramientas para interpretar y extraer información significativa a partir de datos recolectados sobre variables como temperatura, humedad, calidad del aire, y otros parámetros relacionados con el entorno. Este proceso es esencial para comprender las dinámicas ambientales y para implementar estrategias efectivas en la gestión y mitigación de impactos ambientales.

Uno de los métodos más comunes en este análisis es la Regresión lineal, que permite modelar la relación entre variables independientes y dependientes, facilitando así la predicción de comportamientos futuros basados en datos históricos [24]. Además, la correlación de variables es fundamental para identificar patrones y relaciones significativas entre diferentes factores, lo que ayuda a prever tendencias y a realizar intervenciones oportunas [25].

Los modelos de series temporales también son una herramienta crucial en el análisis de datos ambientales, ya que permiten capturar y predecir cambios en las variables a lo largo del tiempo. Esto es especialmente útil en el monitoreo de condiciones ambientales que pueden afectar la salud pública y la seguridad industrial [26]. La implementación de estos métodos de análisis no solo contribuye a una mejor comprensión de las condiciones ambientales, sino que también apoya a las organizaciones en la formulación de políticas y la creación de sistemas de alerta temprana ante posibles riesgos ambientales.

Para el análisis de datos ambientales es común encontrarse con series no lineales, para estos casos la recomendación es hacer uso de métodos tales como la correlación polinómica y logarítmica presentadas a continuación:

- **Regresión polinómica**

La regresión polinómica extiende el concepto de regresión lineal al incluir términos polinómicos en el modelo, lo que permite capturar relaciones no lineales entre variables. La regresión polinómica se aplica en estudios que examinan relaciones complejas, como la relación entre el uso del suelo y la calidad del agua, donde pueden existir efectos no lineales significativos [27]. Permite modelar fenómenos como el crecimiento de plantas en función de variables ambientales, considerando interacciones que podrían pasar desapercibidas en un modelo lineal. La forma general de la Regresión polinómica es:

La ecuación general de un polinomio de grado N es:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 \dots + a_nx^n$$

Donde y es la variable dependiente y x es la variable independiente [24].

- **Regresión Logística**

La regresión logística es un modelo estadístico utilizado para predecir la probabilidad de un resultado binario (es decir, dos posibles resultados) en función de una o más variables independientes. A diferencia de la regresión lineal, que se utiliza para variables continuas, la regresión logística estima la probabilidad de que un evento ocurra, utilizando la función logística:

$$P(Y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(B_0 + B_1x_1 + \dots + B_nx_n)}}$$

Donde $P(Y = 1)$ es la probabilidad de que ocurra el evento de interés, B_0 es la intersección y $B_0 + B_1 \dots + B_n$ son los coeficientes de las variables independientes $x_1 \dots x_n$ [28].

- **Aplicaciones en Análisis Ambiental**

La regresión logística es especialmente útil en estudios ambientales para modelar la probabilidad de ocurrencia de eventos como la presencia o ausencia de especies en función de variables ambientales, como la temperatura o la contaminación. También se aplica en la evaluación del riesgo de salud asociado a factores ambientales, permitiendo a los investigadores identificar umbrales críticos para intervenciones.

6.3 Prevención de fallas en el cuarto de máquinas

Monitoreo Continuo y Mantenimiento Predictivo basado en Análisis de Datos

El monitoreo continuo y el mantenimiento predictivo se han convertido en pilares fundamentales para evitar fallas en los equipos de un cuarto de máquinas, especialmente en entornos industriales. Ambas estrategias dependen cada vez más del análisis de datos y la integración de tecnologías avanzadas para detectar fallos antes de que se conviertan en problemas críticos.

- **Monitoreo Continuo**

El monitoreo continuo consiste en la recopilación y evaluación en tiempo real de datos de funcionamiento de los equipos mediante sensores distribuidos en puntos clave, como temperatura, humedad y otros parámetros críticos. Estos datos se envían a una plataforma centralizada, donde se analizan en busca de desviaciones respecto a los valores normales. En industrias donde los equipos trabajan a alta capacidad, esta vigilancia constante es vital para predecir y prevenir fallos potenciales [29].

- **Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo se basa en el análisis de datos históricos y en tiempo real provenientes de los equipos, lo que permite predecir con un alto grado de confianza la probabilidad de que un componente falle. A través de algoritmos avanzados de análisis de datos, como el aprendizaje automático y las técnicas de modelado predictivo, es posible calcular la vida útil restante de los equipos, reduciendo el mantenimiento innecesario y optimizando los recursos [30].

Este enfoque elimina la dependencia de calendarios rígidos de mantenimiento preventivo, que suelen ser ineficientes y pueden causar paradas innecesarias. Al enfocarse solo en el mantenimiento cuando los datos lo sugieren, las empresas pueden aumentar la vida útil de los componentes, reducir los tiempos de inactividad y ahorrar costos operativos significativos [31].

Los avances en tecnologías de análisis de datos han permitido que tanto el monitoreo continuo como el mantenimiento predictivo sean más precisos y confiables. Plataformas de Big Data e Internet de las Cosas (IoT) permiten que los datos recogidos de los sensores se procesen rápidamente, generando alertas cuando los equipos muestran signos de deterioro o ineficiencia. Además, la creación de modelos predictivos basados en datos históricos y en las condiciones actuales del equipo permite realizar intervenciones antes de que se produzca una falla catastrófica.

6.3.1 Patrones de comportamiento y fallas

El **monitoreo continuo** recopila datos mediante sensores que miden variables clave como la vibración, la temperatura, y la presión de los equipos. Estos datos son luego analizados en tiempo real, permitiendo detectar anomalías y posibles fallas inminentes. Tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) están revolucionando este campo al permitir una mayor conectividad y análisis de grandes volúmenes de datos, mejorando la precisión en las predicciones y optimizando las acciones de mantenimiento [32].

De mismo modo el monitoreo continuo y el mantenimiento predictivo son fundamentales para prevenir fallas en equipos industriales y sistemas críticos, como los encontrados en un cuarto de máquinas. El mantenimiento predictivo se basa en el análisis de datos históricos y en tiempo real para identificar patrones que indiquen el deterioro de componentes antes de que ocurran fallas mediante la recopilación de datos haciendo uso de sensores que miden variables clave como la vibración, la temperatura, y la presión de los equipos. Estos datos son luego analizados en tiempo real, permitiendo detectar anomalías y posibles fallas inminentes [33].

6.4 Implementación de sistemas de alerta basados en IoT

La implementación de sistemas de alerta basados en IoT utiliza tecnologías avanzadas que permiten el monitoreo continuo de máquinas e infraestructuras, ayudando a prevenir fallas críticas. Estos sistemas se apoyan en una red de sensores que capturan datos ambientales o de funcionamiento y los envían a una plataforma central para su procesamiento. Cuando se detecta una anomalía, el sistema envía alertas en tiempo real a los operadores a través de interfaces SCADA, aplicaciones móviles o correos electrónicos, asegurando una respuesta rápida. Según [34], este tipo de sistema es particularmente útil en aplicaciones industriales donde el tiempo de respuesta es crítico.

Una característica importante de los sistemas IoT de alerta es su capacidad para adaptarse a diferentes entornos, configurando umbrales personalizados que optimizan el proceso de detección de fallas. Como señalan [35], el uso de análisis predictivos mejora considerablemente la eficiencia del mantenimiento, ya que permite anticipar fallos antes de que se presenten. Además, la integración de machine learning en estos sistemas permite identificar patrones que podrían no ser evidentes a través de métodos basados en este modelo.

6.4.1 Concepto de IoT aplicado a la industria

El Internet de las Cosas (IoT) aplicado a la industria, también conocido como Industria 4.0, es la interconexión de máquinas, sistemas y dispositivos a través de redes digitales, lo que permite recopilar, analizar y compartir datos en tiempo real. Esta tecnología ha transformado los procesos industriales al mejorar la operatividad, reducir el tiempo de inactividad y permitir un mantenimiento predictivo.

En términos prácticos, los dispositivos IoT equipados con sensores recopilan datos que se transmiten a plataformas de análisis, donde se pueden identificar patrones de rendimiento, detectar fallos antes de que ocurran, y optimizar el uso de recursos. La automatización de procesos y la capacidad de control remoto son otros beneficios clave.

Según [36], el IoT en la industria ha sido crucial para permitir operaciones más seguras y eficientes en sectores como la fabricación, la logística y la energía. Además, [37] explican que el IoT ha facilitado la integración de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático, lo que permite una toma de decisiones más precisa y basada en datos en tiempo real. Esto ha generado un cambio hacia fábricas inteligentes, donde los sistemas autónomos pueden ajustar parámetros de producción sin intervención humana.

6.4.2 Alarmas visuales y audibles

Las alarmas visuales y audibles son herramientas clave en sistemas de monitoreo industrial y de seguridad, ya que permiten alertar a los operadores sobre fallos o condiciones anómalas de forma inmediata y efectiva. Estas alarmas son especialmente críticas en entornos industriales como cuartos de máquinas, donde cualquier fallo podría tener consecuencias graves, desde el daño a equipos hasta la interrupción del funcionamiento de sistemas vitales.

- Las alarmas visuales, generalmente en forma de luces intermitentes o señales de colores, permiten una identificación rápida de problemas a simple vista. Suelen estar codificadas por colores (rojo para advertencias críticas, amarillo para advertencias menores, verde para estados normales) para facilitar la comprensión del estado del sistema.
- Las alarmas audibles complementan a las visuales, emitiendo sonidos de diferente intensidad o frecuencia según la gravedad de la situación. Son particularmente útiles en entornos ruidosos o donde los operadores no están siempre en la misma ubicación que las alarmas visuales.

El uso conjunto de estos sistemas mejora la capacidad de respuesta de los operadores, minimizando el tiempo de reacción ante fallos. Según [38], estos sistemas de alerta han demostrado ser esenciales en la prevención de fallos catastróficos al proporcionar notificaciones tempranas y claras sobre condiciones críticas.

En sistemas más avanzados basados en IoT, como menciona [39], las alarmas visuales y audibles se integran con plataformas digitales que permiten un monitoreo remoto. De este modo, además de alertar a los operadores locales, las notificaciones pueden enviarse a dispositivos móviles o estaciones de control centralizadas, mejorando aún más la capacidad de respuesta.

6.4.3 Protocolo de comunicación y seguridad IoT

Blynk es una plataforma diseñada para facilitar la implementación de aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), permitiendo la creación de interfaces para controlar dispositivos conectados a través de una aplicación móvil. Blynk proporciona una forma simple y eficiente de desarrollar proyectos IoT en tiempo real, gracias a su protocolo de comunicación basado en la nube, y soporta una gran variedad de hardware como ESP32, Arduino, Raspberry Pi, entre otros [40].

- **Seguridad en Blynk**

Aunque el protocolo Blynk es sencillo de implementar, se toman medidas para asegurar la transmisión de datos. Según [41], las conexiones de Blynk se protegen utilizando SSL (Secure Sockets Layer) para cifrar las comunicaciones, garantizando que los datos entre los dispositivos IoT y los servidores de la nube no sean interceptados o manipulados por terceros.

- **Integración con Protocolos de IoT**

Blynk también se puede integrar con otros protocolos estándar en IoT como MQTT y HTTP, lo que permite crear soluciones más robustas. Esto hace que Blynk sea ideal para aplicaciones industriales donde es crucial tener un control y monitoreo en tiempo real, como en cuartos de máquinas. En [42], destaca que el uso de Blynk es adecuado cuando se requieren sistemas de alerta basados en IoT, pues su facilidad de uso y capacidades en tiempo real son altamente valoradas en entornos de monitoreo continuo y mantenimiento predictivo.

6.5 Sistemas de emergencia y apagado automático

En el ámbito industrial, los sistemas de emergencia y apagado automático son esenciales para prevenir daños en equipos y garantizar la seguridad del personal. Particularmente, en motores, la implementación de sistemas de apagado por sobrecalentamiento es crucial. Estos sistemas monitorean continuamente parámetros como la temperatura y activan un apagado automático si se detectan niveles peligrosos.

Los sistemas de emergencia y apagado automático en motores se utilizan para prevenir daños graves en caso de sobrecalentamiento u otras condiciones peligrosas. El sobrecalentamiento de motores puede ser causado por varios factores, como un flujo de aire restringido, filtros sucios, sobrecarga del motor o un desequilibrio en el voltaje de fase. Los sistemas de protección térmica, como los sensores de temperatura o dispositivos de corte térmico, son esenciales para evitar que los motores operen por encima de su temperatura de diseño, lo que podría reducir significativamente su vida útil [43].

Para prevenir el sobrecalentamiento, los motores pueden estar equipados con sensores como RTD (resistencias de detección de temperatura) que monitorean continuamente la temperatura del motor. En caso de que se detecte un sobrecalentamiento, estos sistemas pueden apagar automáticamente el motor para evitar daños mayores [44].

En sistemas de bombeo, existen dispositivos como los interruptores de protección contra

sobrecalentamiento, que apagan la bomba si se detecta una condición de "funcionamiento en seco" o temperaturas excesivas. Estos dispositivos permiten que la bomba se enfríe y, en algunos casos, reinician el motor automáticamente después de un período de enfriamiento, evitando daños por calor continuo.

Este enfoque integral de protección es fundamental para mantener la seguridad operativa en aplicaciones industriales, donde un fallo no controlado puede tener consecuencias significativas.

6.5.1 Apagado remoto y manual

Un tipo clave de sistema de emergencia es el *Energize-to-Trip* y *De-Energize-to-Trip*, que asegura que el sistema se apague automáticamente si se detecta una condición peligrosa, incluso en caso de fallo en el suministro eléctrico o en los controles. Estos sistemas, además de reducir riesgos, mejoran la operatividad al mantener el equipo seguro sin intervención humana constante [45].

Las plataformas digitales y el IoT han modernizado estos sistemas, permitiendo una integración más eficiente con tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático. Estas tecnologías pueden procesar grandes volúmenes de datos, detectar patrones de falla con precisión, y activar los sistemas de emergencia mucho más rápido que los métodos tradicionales. se puede llegar a la conclusión de optar por estas soluciones no solo aumentan la seguridad, sino que también minimizan falsas alarmas y mejoran los tiempos de respuesta, factores críticos en un entorno industrial donde el tiempo es fundamental para evitar desastres y pérdidas significativas.

Capítulo 7

Diseño Metodológico

Para realizar el proyecto hay que cumplir un orden que aborde los objetivos específicos y planteara la figura 1; Para alcanzar las metas propuestas se definió un enfoque cuantitativo, considerando el análisis de los datos recopilados con sensores dispuestos en el cuarto de máquinas que favorecen al monitoreo.

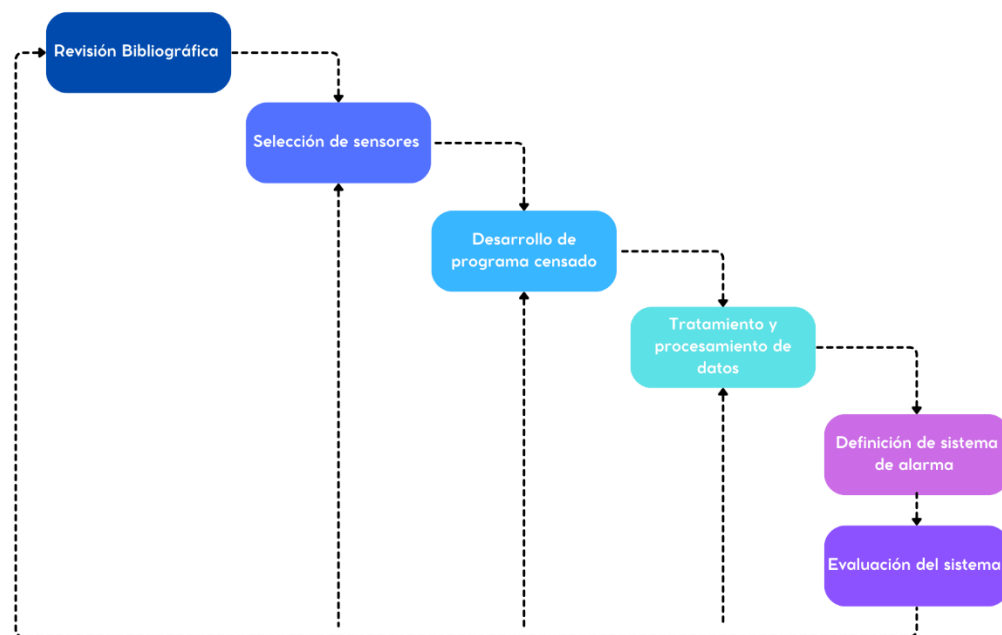


Figura 1 - Metodología del proyecto [Autoría Propia]

7.1 Revisión Bibliográfica

En la primera fase de la metodología se realizará una investigación en función del uso de sensores de humedad y temperatura, la programación de microcontroladores basada en la adquisición de datos y el planteamiento de un sistema de aviso temprano. Se llevará a cabo mediante la documentación y los *datasheets* presentados para el sensor y el microcontrolador implementado. Se tendrá en cuenta el uso de artículos e investigaciones disponibles en el CRAI, con el objetivo de adquirir una comprensión sólida en monitoreo y adquisición de datos.

7.2 Selección de sensores

En esta fase, se definirá un proceso para elegir el sensor de temperatura y humedad más adecuado para operar en las condiciones específicas del cuarto de máquinas. La selección se realizará considerando factores clave como la exactitud en las mediciones, el rango de operación en temperatura y humedad, y la compatibilidad de la interfaz de comunicación con el sistema, priorizando opciones como I2C por su facilidad para manejar múltiples dispositivos. También se evaluarán aspectos como el periodo de muestreo, el costo en relación con el desempeño y la resistencia del sensor a condiciones extremas del entorno. Finalmente, se tomará en cuenta la facilidad de integración, asegurando que los sensores seleccionados cumplan con los requisitos técnicos del proyecto y puedan instalarse de forma eficiente.

7.3 Desarrollo de prototipo y programa principal

La tercera fase se enfocará en el sistema encargado de la programación para el monitoreo en el cuarto de máquinas, así como en la configuración de una red IoT por medio de Blynk, permitiendo que el sistema monitoree las condiciones de humedad y temperatura en tiempo real. A través de la ESP32 y el entorno de desarrollo Blynk, se configurará un sistema de conectividad que permitirá visualizar el estado de las variables y activar los GPIOs de manera remota. Para facilitar la supervisión, se implementarán alertas sonoras y visuales en tiempo real mediante la aplicación de Blynk, de manera que cualquier condición de temperatura o humedad crítica active una notificación inmediata al usuario. Además, se diseñarán *widgets* gráficos que representen los datos históricos y en tiempo real, permitiendo un análisis rápido y preciso desde dispositivos móviles o computadoras.

Además, se implementará un sistema *offline*, esencial para momentos en los que el cuarto de máquinas pueda quedarse sin conectividad. Para asegurar la continuidad en la recolección de datos, se integrará una pantalla LCD que permita visualizar la temperatura y humedad actuales en sitio, así como una memoria microSD para el almacenamiento de datos históricos. Un reloj en tiempo real (RTC) se utilizará para registrar cada evento con precisión temporal.

7.4 Tratamiento y procesamiento de datos

La fase de análisis de patrones y comportamiento se diseñará para aprovechar los datos recolectados y descubrir tendencias que pudieran anticipar situaciones de riesgo. Para esto, se implementarán modelos de regresión polinómica y *Random Forest* en Python, con el objetivo de analizar patrones de temperatura y humedad. La regresión polinómica permitirá una primera visión sobre las tendencias de las variables ambientales a lo largo del tiempo. Luego, el modelo de *Random Forest*, optimizado en sus parámetros, se utilizará para hacer predicciones sobre posibles condiciones críticas. Este análisis se convertirá en una herramienta para prever situaciones que podrían llevar a una avería y dar al personal la oportunidad de tomar acciones preventivas antes de que ocurran.

Capítulo 8

Resultados

8.1 Algoritmo General para el Monitoreo y Control Automatizado de un Cuarto de Máquinas con IoT

El Diagrama 1, describe el algoritmo general implementado para el sistema de monitoreo continuo en un cuarto de máquinas, diseñado para garantizar la operación segura y eficiente de una motobomba y su entorno. Este sistema combina tecnologías de monitoreo ambiental, control automatizado y conectividad IoT, permitiendo una supervisión precisa de la temperatura en tiempo real y la gestión de condiciones críticas que podrían comprometer la funcionalidad del equipo.

El algoritmo se fundamenta en una serie de pasos secuenciales que comienzan con el estado inicial de la motobomba apagada. A través de sensores de temperatura integrados y conectados a un microcontrolador ESP32, se realiza la lectura periódica de los datos ambientales. Estos datos son almacenados en una tarjeta SD para su posterior análisis, mientras que el sistema evalúa en tiempo real si las condiciones de temperatura exceden un umbral predefinido. En caso de detectarse temperaturas altas, se activa un protocolo de seguridad que incluye la detención inmediata de la motobomba, la emisión de una alerta sonora, y el envío de notificaciones al usuario mediante la plataforma Blynk.

El sistema también verifica la disponibilidad de conexión a Internet, lo que permite operar en dos modos: control remoto mediante Blynk, o control manual local mediante botones físicos. Esta dualidad asegura la funcionalidad incluso en condiciones de desconexión, maximizando la confiabilidad operativa. El algoritmo cierra el ciclo repitiendo el proceso de monitoreo y evaluación, garantizando un monitoreo continuo del cuarto de máquinas y la pronta respuesta ante cualquier anomalía detectada.

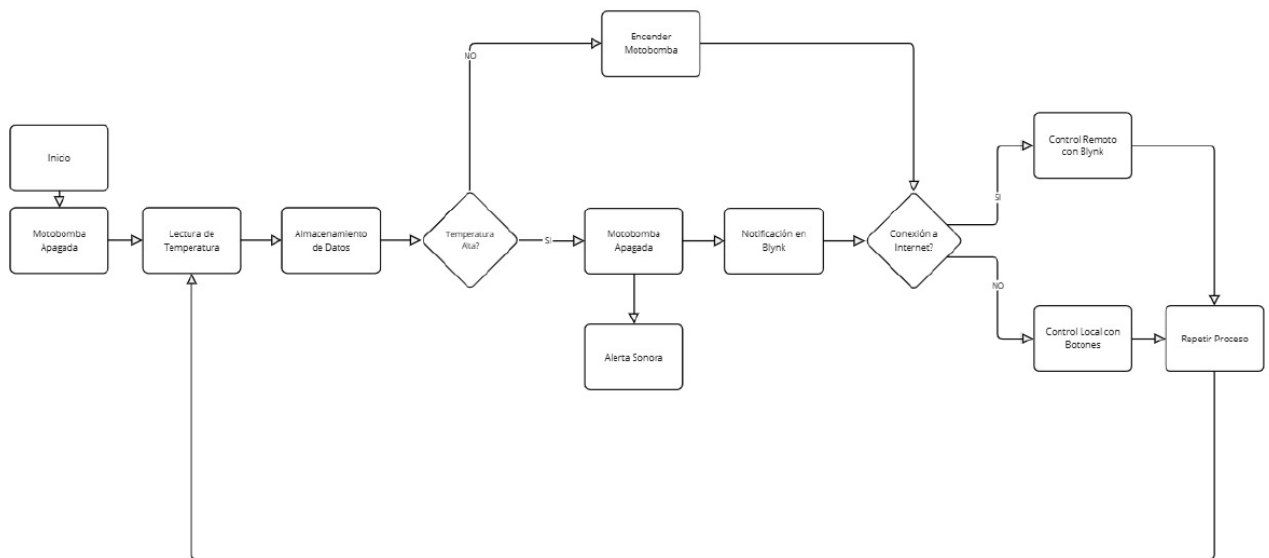


Diagrama 1 - Algoritmo general para el monitoreo y control automatizado de cuarto de máquinas con IOT [Autoría Propia]

8.2 Selección de sensores

Se realizó una investigación exhaustiva de diferentes sensores para monitorear la temperatura y la humedad en el cuarto de máquinas. La selección se basó en Costo, Exactitud de medición en temperatura y humedad, Rango de medición de temperatura y humedad, Periodo de muestreo, Interfaz.

La selección adecuada de sensores es fundamental en cualquier sistema de monitoreo ambiental. Los sensores DHT22 y BME280, por ejemplo, son opciones ampliamente utilizadas para medir la temperatura y la humedad en entornos de educativos por su bajo costo. Al diseñar sistemas de monitoreo en tiempo real, es esencial considerar sensores que mantengan su exactitud en condiciones extremas, como en un cuarto de máquinas donde el calor y la humedad pueden variar. Los sensores seleccionados también debían ser compatibles con la ESP32, que utiliza el protocolo I2C para comunicarse con múltiples dispositivos, lo que simplifica la integración del sistema.

8.2.1 Criterios para la selección de sensores

- **Costo**

El costo es clave si el objetivo del proyecto es un desarrollo de bajo costo. Un sensor más caro generalmente ofrece mejor precisión y un rango de operación más amplio, pero debe equilibrarse con las necesidades del proyecto.

- **Exactitud (Temperatura):**

La exactitud en la medición de la temperatura es crucial para aplicaciones que requieren una mayor sensibilidad, como en sistemas de monitoreo que se desarrollen en altas temperaturas y humedad. Cuanto menor sea el margen de error, más confiable será el sensor en aplicaciones críticas.

- **Exactitud (Humedad):**

Al igual que con la temperatura, la exactitud en la medición de la humedad es vital en muchas aplicaciones, como el control de condiciones en invernaderos, almacenamiento de alimentos o monitoreo de ambientes interiores. Un sensor más preciso proporcionará datos más confiables.

- **Rango de temperatura:**

El rango de operación de temperatura define en qué condiciones el sensor puede funcionar correctamente. Es fundamental seleccionar un sensor que cubra las temperaturas esperadas en el entorno donde se utilizará. Si el sensor opera fuera de su rango, las mediciones pueden ser incorrectas o el sensor puede dañarse.

- **Rango de humedad:**

Define el rango de niveles de humedad que el sensor puede medir. En aplicaciones como monitoreo climático o ambientes industriales con alta humedad, es importante

que el sensor soporte valores extremos sin perder precisión o funcionalidad.

- **Tiempo de respuesta:**

Es la rapidez con la que el sensor puede detectar cambios en las condiciones de temperatura y humedad. Un tiempo de respuesta rápido es esencial en sistemas donde los cambios de temperatura y humedad ocurren rápidamente, como en HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado) o monitoreo de procesos industriales.

- **Interfaz:**

La interfaz de comunicación es fundamental para la compatibilidad con el sistema de control o el microcontrolador que utiliza (como la ESP32 en su caso). Las interfaces más comunes son I2C, SPI, *One-Wire* y *Zigbee*. Por ejemplo, I2C es popular por su simplicidad y facilidad de conexión de múltiples dispositivos en el mismo bus.

Sensor	Precio (COP)	Exactitud (Temperatura)	Exactitud (Humedad)	Rango de Temperatura (°C)	Rango de Humedad (%)	Periodo de muestreo	Interfaz
DHT11	\$ 5.950,00	±2 °C	±5%	2 a 25	2 a 99	2 s	Digital
DHT22 (AM2302)	\$ 9.996,00	±0.5 °C	±2%	-40 a 80	10 a 99.9	2 s	Digital
SHT31	\$ 20.000,00	±0.2 °C	±2%	0 a 90	0 - 100	1.3 s	I2C
HTU21D	\$ 16.000,00	±0.3 °C	±2%	- 40 a 105	10 - 100	1s	I2C
BME280	\$ 22.150,00	±0.8 °C	±3%	-40 a 85	0 - 100	1 s	I2C, SPI
Si7021	\$ 19.900,00	±0.4 °C	±5%	-40 a 125	0 - 100	1 s	I2C
AM2320	\$ 12.000,00	±0.5 °C	±10%	-40 - 80	0 - 99.9	2 s	I2C, One-Wire
MCP9808	\$ 16.000,00	±0.3 °C	N/A	-40 - 125	N/A	1.5 s	I2C
Sonoff Zigbee SNZB-02	\$ 75.900,00	±0.3 °C	±3%	-50 a 100	5 - 95	1,5 s	Zigbee
HDC1080	\$ 38.000,00	±0.2 °C	±2%	-40 - 125	0 - 100	1s	I2C

Tabla 1 - Criterios de selección sensor. [Autoría Propia]

8.2.2 Sensor seleccionado

La siguiente tabla muestra un análisis comparativo de diferentes sensores de temperatura y humedad, basado en una matriz de Pugh. Los sensores fueron evaluados según criterios

específicos que reflejan su adecuación a las necesidades del proyecto. Para esta evaluación, se utilizó una rúbrica que asigna puntuaciones relativas (0 o 1) a cada sensor, dependiendo de su desempeño.

Sensor	Costo relativo (Puntuación)	Puntuación de exactitud relativa (Puntuación)	Adecuación del rango de medición (Puntuación)	Desempeño en el período de muestreo (Puntuación)	Facilidad de integración por interfaz (Puntuación)	Total (Puntos)
DHT11	1	0	0	0	0	1
DHT22 (AM2302)	1	0	0	0	0	1
SHT31	1	1	1	1	1	5
HTU21D	1	1	1	1	1	5
BME280	1	1	0	1	1	4
Si7021	1	0	1	1	1	4
AM2320	1	0	1	0	1	3
MCP9808	1	0	1	1	1	4
Sonoff Zigbee SNZB-02	0	0	1	1	0	2
HDC1080	0	1	1	1	1	4

Tabla 2 - Matriz de pugh para sensores. [Autoría Propia]

Teniendo en cuenta los factores previamente analizados en la matriz de pugh, se decidió seleccionar el sensor SHT31 debido a su relación costo-beneficio. Este sensor destaca por su exactitud en la medición de temperatura y humedad, superando a otros modelos en términos de exactitud dentro de la misma categoría de precio. El SHT31 posee un rango de medición que se ajusta a las condiciones típicas de un cuarto de máquinas, garantizando un monitoreo incluso en ambientes con fluctuaciones térmicas y de humedad.

Un factor determinante en su elección fue su corto tiempo de respuesta o intervalo de muestreo, lo que permite una captura rápida y continua de datos, ideal para sistemas de monitoreo en tiempo real donde se requieren actualizaciones frecuentes. Además, su diseño compacto facilita su instalación en el cuarto de máquinas, especialmente en espacios reducidos o en puntos estratégicos donde la presencia del sensor no debe interferir con el equipo. Por su exactitud, tamaño y adecuación al entorno, el SHT31 ha sido seleccionado como el sensor principal para el monitoreo ambiental en este proyecto, satisfaciendo todas las necesidades Específicas planteadas para la instalación.

8.2.3 Problema de Dirección I2C y Solución con Multiplexor

Durante la instalación de los sensores, se detectó un conflicto de direcciones I2C, ya que varios sensores presentaron la misma dirección, lo que impedía su funcionamiento simultáneo. Para resolverlo, se implementó un multiplexor I2C (TCA9548A) que permitió manejar múltiples sensores con la misma dirección.

El protocolo I2C está diseñado para la comunicación entre microcontroladores y periféricos en un bus de dos cables. Sin embargo, cada dispositivo en el bus debe tener una dirección única. Cuando varios sensores tienen la misma dirección, esto puede generar conflictos de comunicación.

El multiplexor TCA9548A permite superar esta limitación al ofrecer una manera eficiente de seleccionar y comunicar con cada sensor individualmente, utilizando canales separados. En lugar de tener que modificar la dirección de cada sensor, el multiplexor actúa como un interruptor, habilitando únicamente el canal del sensor que se quiere leer en un momento dado, mientras que los demás permanecen inactivos.

A continuación, se detalla el código utilizado para gestionar la selección de los canales y la lectura de los sensores:

En, el TCA9548A tiene una dirección predeterminada de 0x70 (112 en decimal). Esta es la dirección I2C que el ESP32 utilizará para comunicarse con el multiplexor. Continuando con `tcaSelect()`, es la función principal para seleccionar un canal específico en el multiplexor donde esta función toma un parámetro `i`, que es un número entero (de 0 a 7). Este valor representa uno de los 8 canales del multiplexor. Se verifica que el valor `i` esté dentro del rango de 0 a 7. Si `i` es mayor que 7, no se selecciona ningún canal y se termina la función.

Al finalizar la transmisión de datos I2C. Una vez que se ha enviado el comando para seleccionar un canal, el ESP32 termina la comunicación con el multiplexor y ese canal en particular queda habilitado para ser usado. Para cada sensor de temperatura y humedad, se utiliza `tcaSelect()` para habilitar el canal correspondiente del multiplexor. Después de seleccionar el canal correcto, el ESP32 puede comunicarse con el sensor a través del bus I2C de la siguiente manera.

8.2.4 Distancia de Cableado y Solución

La distancia entre el punto de control (ubicado fuera del cuarto de máquinas) y los sensores era de aproximadamente 6 metros, lo que resultó en una pérdida de señal significativa debido a la longitud del cable. El protocolo I2C fue diseñado para la comunicación a distancias cortas (generalmente menos de un metro). A distancias mayores, la resistencia y la capacitancia del cable pueden afectar la señal, causando caídas de tensión y pérdida de datos. El uso de cables UTP categoría 6 reduce el impacto de la interferencia electromagnética, mejorando la integridad de la señal. Sin embargo, esto no es suficiente por sí solo; es necesario utilizar resistencias pull-up adecuadas para mantener la línea de datos a un nivel lógico, lo que asegura que las señales de datos sean leídas correctamente por el microcontrolador.

Se experimentó una pérdida completa de la señal después de más de un metro de cable. Para estabilizar la señal, se utilizaron resistencias pull-up a la entrada del multiplexor, lo que permitió restaurar la comunicación de los sensores.

En un sistema I2C, las líneas de datos y reloj están conectadas a tierra mediante resistencias pull-up que las mantienen en un estado alto cuando no están siendo utilizadas. Sin estas resistencias, la señal puede fluctuar y generar errores de comunicación, especialmente en cables largos. Al agregar resistencias pull-up al bus de datos y reloj, se mejora la velocidad de respuesta y la estabilidad de la señal, permitiendo que el sistema I2C funcione correctamente a mayores distancias.

Por último, el uso del cable UTP categoría 6 presenta características que además de reducir el impacto de la interferencia electromagnética gracias a que contiene internamente un par trenzado estandarizado para Ethernet, este cable dispone de cuatro pares de hilos de cobre de calibre 22 siendo suficientes para abarcar la conexión de un sensor por cable. Los cables UTP tienen un diámetro externo de aproximadamente 0,43 cm y su tamaño reducido puede ser una ventaja durante la instalación, este diámetro presenta una protección a golpes o roturas internas del cobre siendo una ventaja a la hora de manejar un ambiente hostil.

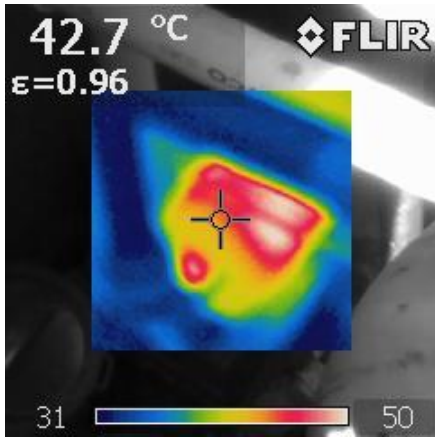
8.2.5 Determinación de la Ubicación de los Sensores Mediante una Cámara Térmica

Para determinar los puntos críticos donde debían colocarse los sensores en el cuarto de máquinas, se utilizó una cámara térmica FLIR I40 que ayudó a identificar los "puntos calientes" en los equipos y las áreas del cuarto que requerían monitoreo.

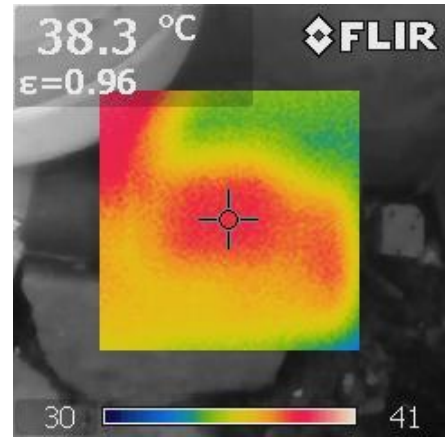
Las cámaras térmicas son herramientas necesarias para la identificación de zonas con mayor generación de calor en entornos industriales. Estas cámaras capturan imágenes en función de las variaciones de temperatura en superficies, lo que permite detectar áreas que podrían sobrecalentarse o fallar antes de que ocurran problemas. En este caso, la cámara térmica permitió ubicar los sensores en las motobombas, que eran las principales fuentes de calor, así como en un punto intermedio para obtener una medición general del ambiente del cuarto de máquinas.

A continuación, se muestra la Imagen 1, obtenidas durante esta evaluación teniendo en cuenta que el cuarto de máquinas debe estar operando para obtener mediciones que reflejen un ambiente cotidiano de trabajo, se tomó en cuenta realizar un mapeo a todas las áreas dentro del cuarto de máquinas en base a una inspección inicial que pretende establecer un punto de referencia del equipo cuando funciona en condiciones normales y sin problemas, seguido de una inspección de tendencia realizada después de la inspección inicial para obtener imágenes y poder comparar.

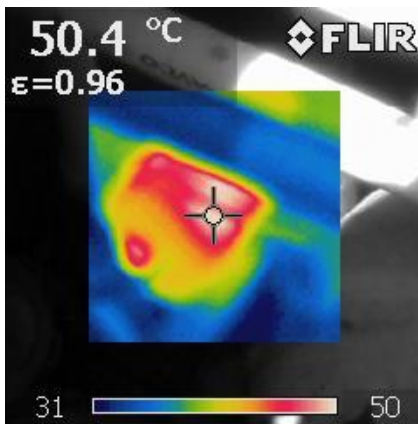
- **Inspección inicial e Inspección de tendencia**



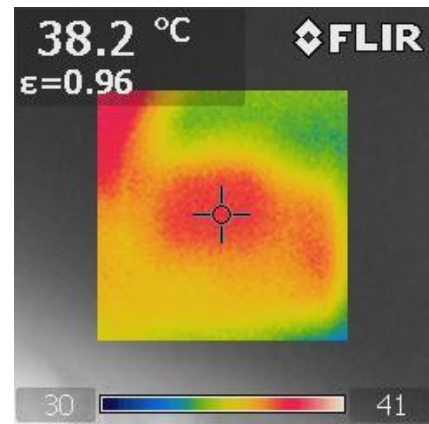
a)



b)



c)



d)

Imagen 1 - Inspección de tendencia térmica e inspección inicial con cámara FLIR I40. a) Inspección inicial motobomba piscina, b) Inspección inicial motobomba Casa, c) Inspección de tendencia motobomba piscina, d) Inspección de tendencia motobomba Casa. [Autoría Propia]

Al realizar la correspondiente evaluación térmica en el cuarto de máquinas tanto la inspección inicial como la inspección de tendencia indica que los puntos principales de calor provienen de la Motobomba 1 y Motobomba 2, el resto del cuarto no presenta aumentos significativos de temperatura, para los puntos intermedios de temperatura se determinaron dos puntos en específico donde el primero se presentó en medio de las dos motobombas que si bien su influencia de temperatura no es alta si representa la emisión térmica de las dos motobombas, y por último se tomó en cuenta una ubicación clave que representa el punto de menor concentración térmica.

8.2.6 Protección de los Sensores

Para proteger los sensores de posibles daños por humedad, polvo o impactos físicos, se instalaron en cajas acrílicas con aperturas garantizando que las mediciones no fueran afectadas. En términos de durabilidad, el acrílico ofrece una garantía de 10 años, manteniendo su transparencia y nitidez incluso cuando se expone a la intemperie y a los rayos UV. Esto asegura que sus propiedades iniciales se mantendrán a lo largo del tiempo.

La seguridad también es un punto fuerte del acrílico. Es 14 veces más resistente que el vidrio y no se astilla. Además, es un excelente aislante eléctrico y resiste la mayoría de los productos químicos, incluyendo soluciones alcalinas. Al ser un acrílico su principal material se compone de PMMA (Polimetilmetacrilato) tiene un punto de ablandamiento a 115°C, lo que indica que el material pierde su rigidez y se vuelve flexible a esa temperatura. Para procesos de moldeo, se debe calentar dentro del rango de 130°C a 190°C, lo que permite darle forma sin dañar su estructura. En cuanto a su uso continuo, el PMMA puede soportar temperaturas de hasta 85°C de manera segura, aunque exceder esta temperatura puede provocar deformaciones o daños en el material. Por último, el acrílico es un 50% más liviano que el vidrio, lo que facilita su transporte, manipulación e instalación, permitiendo usar estructuras más ligeras y menos elementos de soporte.

Los sensores instalados en entornos industriales están expuestos a una serie de factores que pueden afectar su rendimiento, como la humedad, el polvo o los contaminantes. Las cajas acrílicas ofrecen protección física sin comprometer la capacidad de los sensores para medir los parámetros ambientales. Las aperturas en las cajas permiten el libre flujo de aire para garantizar lecturas precisas de temperatura y humedad, mientras que el acrílico proporciona una barrera contra elementos externos.

Se instalaron cuatro sensores dentro del cuarto de máquinas y se colocó un sensor adicional fuera del cuarto para medir las condiciones ambientales generales visualizados en la Imagen 2. En sistemas de monitoreo industrial, es fundamental no solo medir las condiciones ambientales del entorno, sino también monitorear los puntos críticos que puedan estar sometidos a mayor estrés térmico, como en este caso son las Motobombas. En las siguientes imágenes se evidencia la instalación de los cuatro sensores respectivos en el cuarto de máquinas y la instalación del sensor fuera del cuarto.



a)



b)



c)



d)



e)

Imagen 2 – Posicionamiento de sensores de humedad y temperatura de referencia SHT30. a) Motobomba Piscina, b) Motobomba, c) zona fría cuarto de máquinas, d) zona Intermedia, e) temperatura ambiente. [Autoría Propia]

Para ofrecer una vista general del cuarto de máquinas, se creó un esquema en 3D en SketchUp Figura 2, que muestra detalladamente la ubicación de las motobombas, los componentes eléctricos y los sensores. Este modelo tridimensional permite a los usuarios visualizar la disposición y la interconexión de todos los elementos críticos del sistema, facilitando así la comprensión del entorno operativo.

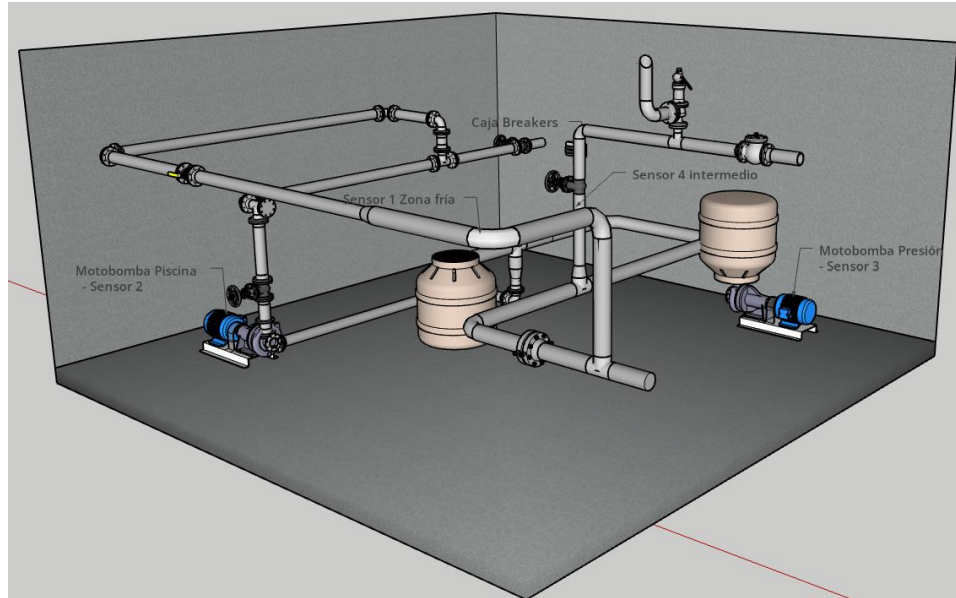


Figura 2 - Esquema 3D cuarto de máquinas. [Autoría Propia]

Uso de promedio ponderado para los sensores en cuarto de máquinas.

El uso de un promedio ponderado al colocar sensores en puntos estratégicos del cuarto de máquinas tiene varias ventajas clave. En lugar de depender de una sola medición de temperatura en un punto específico, se busca obtener una visión más precisa y representativa del ambiente general. Este enfoque es crucial en entornos industriales, donde los diferentes equipos pueden generar diferentes niveles de calor.

Al colocar dos sensores en puntos de mayor intensidad térmica y dos sensores en puntos intermedios del cuarto de máquinas es necesario proporcionar pesos para cada sensor de modo que para la asignación de los pesos de los sensores en el cuarto de máquinas se tomaron datos por un intervalo de tiempo el cual por medio de un análisis de regresión se logró obtener los pesos correspondientes de cada sensor involucrado en el cuarto de máquinas. De este modo, el promedio ponderado permite priorizar las lecturas más influyentes. Esto es fundamental para detectar posibles anomalías térmicas que podrían no ser visibles si solo se tuviera en cuenta una sola fuente de datos.

La importancia del promedio ponderado radica en que permite interpretar el comportamiento de todo el sistema de forma más equilibrada y confiable. En términos de mantenimiento predictivo, este enfoque puede facilitar la detección de problemas potenciales antes de que se conviertan en fallos críticos. Por ejemplo, si los sensores de las motobombas muestran un aumento gradual en la temperatura, el sistema podrá alertar de manera temprana sobre un posible sobrecalentamiento, mientras que el sensor en el centro ofrece un contexto general que puede indicar si hay un aumento en la temperatura ambiental que afecta todo el cuarto.

La fórmula general para un promedio ponderado es la siguiente:

$$Promedio\ Ponderado = \frac{\sum(Peso * valor)}{\sum Peso} \quad Ec (1)$$

Esta fórmula se aplica a las temperaturas y las humedades de los cuatro sensores ubicados en puntos críticos del cuarto de máquinas, el cálculo es:

$$\text{Promedio Ponderado} = \frac{(\text{Peso1} * \text{temp1}) + (\text{peso2} * \text{temp2}) + (\text{peso3} * \text{temp3}) + (\text{peso4} * \text{temp4})}{\text{peso1} + \text{peso 2} + \text{peso 3} + \text{peso 4}} \text{ Ec (2)}$$

Los valores de los pesos para cada sensor se asignarán en función de los resultados del análisis de datos. Este proceso incluirá análisis gráficos (como el área bajo la curva) y técnicas de Random Forest (para determinar la importancia de cada variable). El objetivo es obtener pesos de referencia que se utilizarán para calcular el promedio ponderado.

8.2.7 Calibración de Sensores con un Termohigrómetro de Referencia

Se utilizó un *Hygro-Thermometer* RH300, de alta exactitud para calibrar los sensores instalados en el cuarto de máquinas, comparando las mediciones de temperatura y humedad durante una semana en las horas de mayor temperatura registrada que se da en mayor medida después de las 11 am hasta las 3 pm.

La calibración es un paso esencial para asegurar que los sensores proporcionen lecturas precisas. Comparar las lecturas de los sensores con un instrumento de referencia, como un termohigrómetro de alta precisión, permite ajustar los valores de los sensores instalados, especialmente en un entorno donde pequeñas variaciones de temperatura y humedad pueden tener un impacto significativo en el rendimiento de los equipos. En este caso, la calibración se realizó durante el período de mayor temperatura del día para evaluar el comportamiento de los sensores en condiciones de carga térmica máxima.

8.3 Proceso de Configuración de la Red IoT para el Monitoreo Continuo

La implementación de una red IoT (Internet de las Cosas) permite la monitorización remota y en tiempo real de los sensores instalados en el cuarto de máquinas, facilitando la recolección y análisis de datos críticos, como la temperatura y la humedad. En este proyecto, se decidió utilizar la plataforma Blynk para gestionar el monitoreo continuo de los sensores, así como el control remoto de las motobombas. Blynk es una plataforma ampliamente utilizada por su capacidad de integrarse con dispositivos como la ESP32 y su interfaz amigable para crear aplicaciones móviles personalizadas.

Para la implementación de esta herramienta se realizaron los siguientes apartados.

8.3.1 Autenticación y conectividad:

Estas variables son fundamentales para conectar el ESP32 con los servidores de Blynk. El *BLYNK AUTH TOKEN* es un identificador único generado por Blynk para enlazar el dispositivo con un proyecto específico en la aplicación. También se especifica el nombre de la red WiFi (ssid) y la contraseña (pass) para conectar el ESP32 a internet.

Una vez el dispositivo se conecte al internet asignado este generara la conexión automática a blynk asi como se evidencia en Imagen 3.

alimentos y otro campo de sistema de control de automatización.

El SSR-25DA tiene una capacidad de manejo de corriente de arranque (*surge current*) de 275A, lo cual es más que suficiente para manejar el pico de corriente que puede generar la motobomba al encenderse. En general, los motores, como los de las motobombas, requieren una corriente de arranque mucho mayor que su corriente nominal (en este caso, 10A), que puede ser hasta 7 veces superior.

Este relé de estado sólido necesita de un disipador de calor debido a la corriente manejada por la motobomba que presenta un consumo de 10A en estado de encendido, esto sumado a las horas de operación puede presentar un sobrecalentamiento interno que si no se trata puede terminar en la avería de este relé, por ende, se optó por agregar pasta térmica y el disipador de calor presentando mejorías notables a la hora de exigirle un periodo de uso prolongado.

- **Esquemático conexión Motobomba y relé de estado sólido**

En Figura 3 y Figura 4, se presenta el funcionamiento de un relé de estado sólido (SSR) en conjunto con un disyuntor y una motobomba monofásica. El SSR es un componente clave que permite controlar el paso de corriente hacia la motobomba mediante una señal de control en DC, lo que lo hace muy adecuado para aplicaciones donde se requiere un control sin partes mecánicas móviles, como en los relés tradicionales.

La corriente alterna llega desde una fuente de alimentación y es llevada a través de dos líneas: la fase (L) y el neutro (N). Antes de alcanzar la motobomba, la fase pasa primero por un disyuntor o interruptor térmico, el cual actúa como una medida de protección. En caso de una sobrecarga o cortocircuito, este disyuntor corta el flujo de corriente, evitando daños en el sistema. De igual forma, el relé de estado sólido cuenta con un optoacoplador interno que aísla el dispositivo de control del circuito de potencia, evitando que señales no deseadas afecten el sistema de control.

Una vez que la corriente pasa por el disyuntor, llega al SSR. Este dispositivo tiene dos lados: el lado de control, que recibe la señal en corriente continua, y el lado de potencia, que permite o bloquea el paso de la corriente alterna dependiendo de si el SSR está activado. En el momento en que el SSR recibe la señal de control, conecta la fase a la motobomba, permitiendo que este funcione.

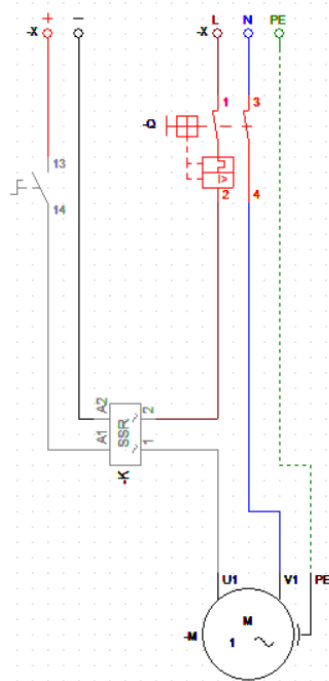


Figura 3 - Esquema motobomba en reposo.
[Autoría Propia]

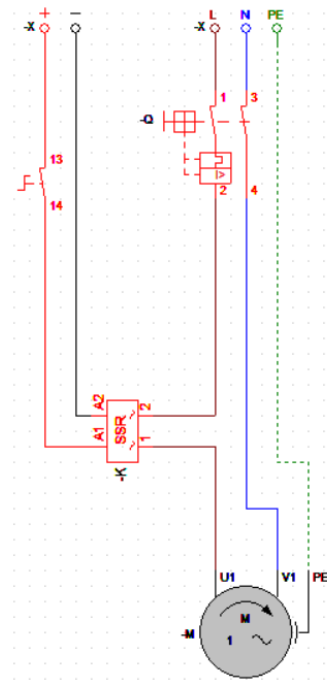


Figura 4 - Esquema motobomba activa.
[Autoría Propia]

En el

Algoritmo 1; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se utiliza la plataforma Blynk para controlar un relé de estado sólido (SSR), encargado de manejar el encendido y apagado de una motobomba. El control se realiza desde la aplicación Blynk a través de un botón virtual en la terminal V10. Se emplea el uso de otra variable virtual que corresponde al estado de encendido y apagado de un led virtual dentro de la aplicación de Blynk, su uso se da cuando el GPIO correspondiente al SSR está en alto este led virtual se enciende y se apaga cuando el GPIO está en bajo, dando una retroalimentación en tiempo real del encendido y apagado del SSR. Además, se emplea una pantalla LCD conectada a un multiplexor I2C para mostrar el estado actual de la bomba, ya sea encendida o apagada, lo que brinda una retroalimentación visual del sistema.

La función principal de este código es responder al cambio de estado del botón en la aplicación. Cuando el usuario presiona el botón en Blynk, el valor recibido puede ser 1 (para activar) o 0 (para desactivar). Dependiendo del valor, el sistema ejecuta diferentes acciones.

Si el valor recibido es 1, activa el SSR, permitiendo que la motobomba funcione. Esta acción se logra enviando un comando a SSR_PIN para ponerlo en *LOW*, lo que activa el relé y, por ende, la bomba. Además, se imprime un mensaje en el monitor serial indicando que el SSR ha sido activado. Simultáneamente, la pantalla LCD, conectada a través de un multiplexor, se actualiza mostrando el mensaje "Motobomba piscina apagada", indicando que la piscina no está en uso. En este momento, también se registra el tiempo en que este mensaje fue mostrado para controlar su duración en la pantalla, y una variable interna *isTurnedOn* se establece en *true*, lo que marca que la motobomba está en funcionamiento.

Por otro lado, si el valor recibido es 0, el SSR se desactiva enviando un comando para poner la terminal en *HIGH*, cortando el flujo de corriente hacia la motobomba. De nuevo, se imprime

un mensaje en el monitor serial indicando que el SSR ha sido desactivado. La pantalla LCD muestra ahora el mensaje "Motobomba piscina encendida", indicando que la piscina está en funcionamiento. Nuevamente, se guarda el tiempo de este cambio y la variable `isTurnedOn` se pone en `false`, marcando que la motobomba ha sido apagada.

En ambos casos, la pantalla LCD se actualiza seleccionando el canal adecuado del multiplexor mediante la función `tcaSelect` (6), que habilita la comunicación con la pantalla. También se limpia el contenido previo de la pantalla antes de mostrar el nuevo mensaje, asegurando que la información presentada sea siempre actual.

```
Inicio
Leer "value" desde Blynk
Si "value" = 1
  Activar SSR
  Consola: "SSR activado"
  Mux -> Canal 6
  LCD -> "Motobomba", "piscina apagada"
  "messageStartTime" = tiempo actual
  "showingMessage" = true
  "isTurnedOn" = true
Si no
  Desactivar SSR
  Consola: "SSR desactivado"
  Mux -> Canal 6
  LCD -> "Motobomba", "piscina encendida"
  "messageStartTime" = tiempo actual
  "showingMessage" = true
  "isTurnedOn" = false
Fin Si
Fin
```

Algoritmo 1 - Configuración SSR

8.3.4 Creación de *Widget* para Gráficos en Tiempo Real

En la aplicación Blynk, se crearon *widget* o herramientas que permiten al usuario observar gráficas en tiempo real de las temperaturas y humedades capturadas por los sensores. Estos *widgets* están asociados a las terminales virtuales que corresponden a las variables leídas de los sensores, permitiendo al usuario analizar los datos a través de una interfaz gráfica amigable, como se puede observar en Figura 5.

- **Medidor de temperatura (Gauge Widget):**

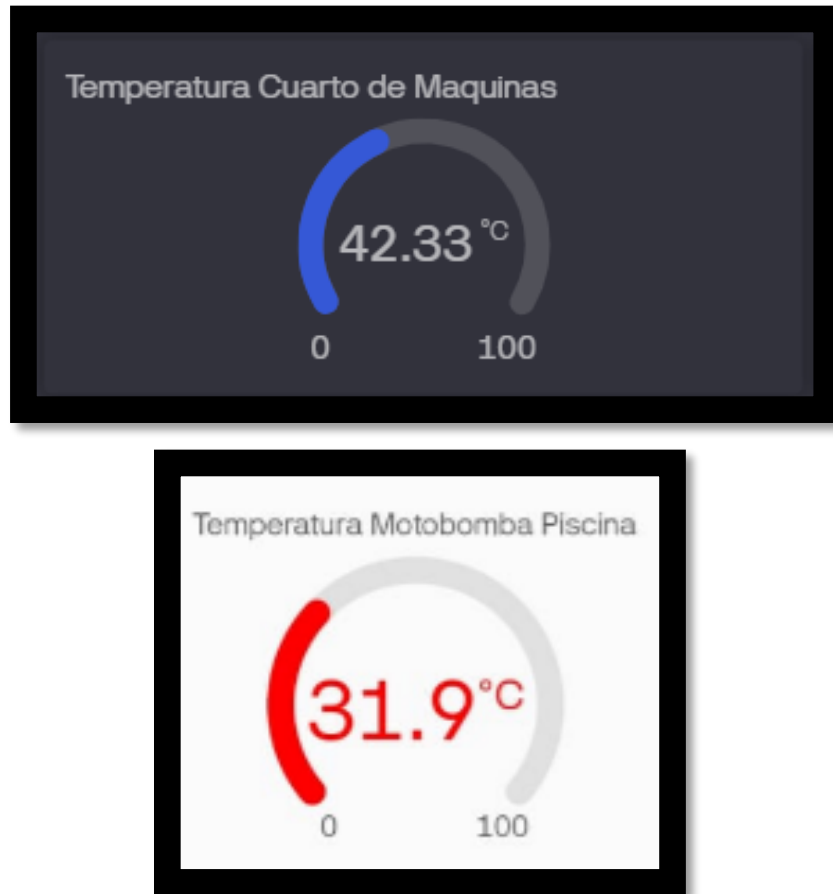


Figura 5 - Gauge [Imagen tomada de Blynk]

Este *widget* muestra la temperatura actual del cuarto de máquinas en tiempo real.

- **Gráfico de tiempo (SuperChart Widget):**

La Grafica 1, está monitoreando una variable llamada temp2. Representa los cambios de temperatura en el cuarto de máquinas a lo largo del tiempo. La gráfica muestra una tendencia que se actualiza periódicamente.



Grafica 1 - SuperChart. [Imagen tomada de Blynk]

- **Interruptor (*Button or Switch Widget*):**

Este *widget* actúa como un interruptor que controla el estado del cuarto de máquinas, específicamente para encender o apagar algún equipo, cuando está en la posición "On", como se ve en Figura 6, está activando el SSR o algún equipo conectado al cuarto de máquinas. El usuario puede manipularlo desde la aplicación para encender o apagar dicho sistema de forma remota.

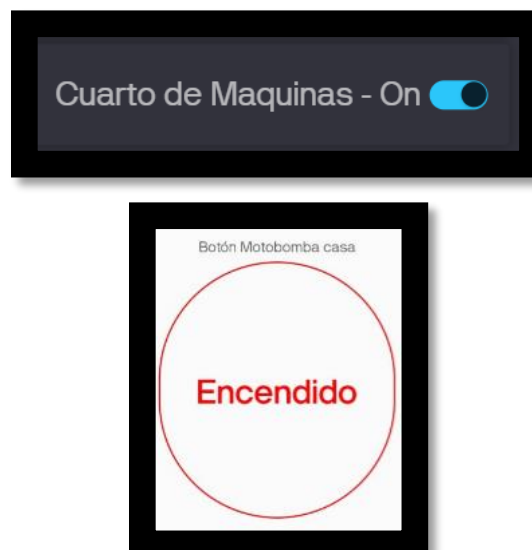


Figura 6 - Button or Switch [Imagen tomada de Blynk]

- **Selector de rango temporal (*Time Selector Widget*):**

Este control permite cambiar entre diferentes intervalos de tiempo para visualizar datos en vivo o históricos, como se ve en el gráfico de línea. Los botones incluyen opciones como "Live" (en tiempo real), "1h", "6h", "1d" (1 día), como se visualiza en Figura 7.

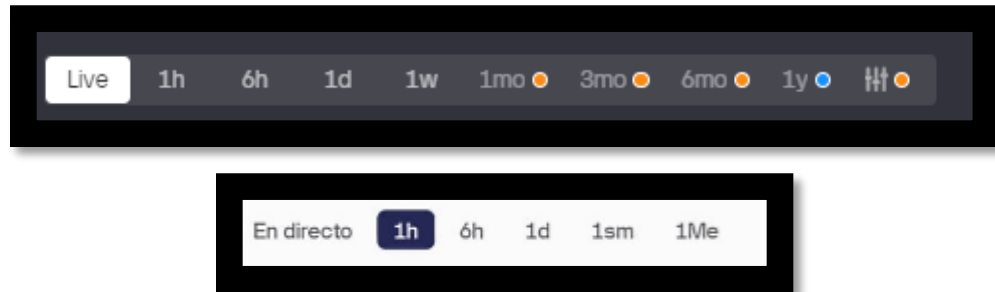


Figura 7 - Time Selector. [Imagen tomada de Blynk]

- **Led de respuesta**

Estos leds de respuesta permiten tener una confirmación ante el encendido y apagado de las motobombas en el cuarto de máquinas ya que con el solo uso del botón no se está cerciorando correctamente de un encendido correcto, como se ve en Figura 8.

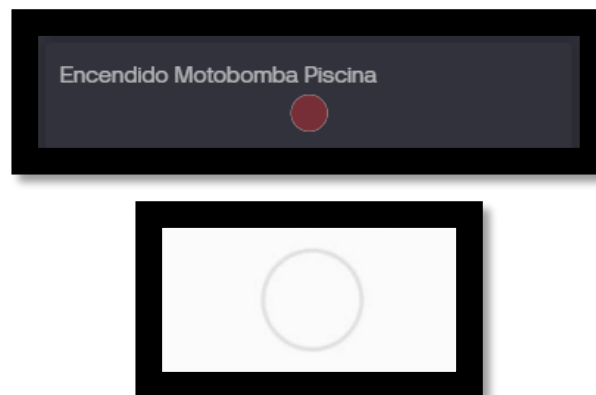


Figura 8 - Led de respuesta. [Imagen tomada de Blynk]

8.3.5 Alerta de temperatura crítica sonora y audible mediante Blynk

Un componente crítico del sistema es la capacidad de enviar alertas al usuario cuando se detectan condiciones de sobrecalentamiento o anomalías en los datos recogidos por los sensores. Estas alertas son gestionadas automáticamente por la plataforma Blynk, que notifica al usuario a través de la aplicación móvil cada vez que la temperatura o la humedad superan ciertos umbrales previamente configurados como se visualiza en Imagen 4. Las notificaciones emiten un sonido que no se apagará hasta que el usuario responda a la alerta, estableciendo un intervalo de un minuto entre las alertas. Esto permite al usuario u operador alertarse ante situaciones de peligro sin necesidad de estar presente en el cuarto de máquinas.

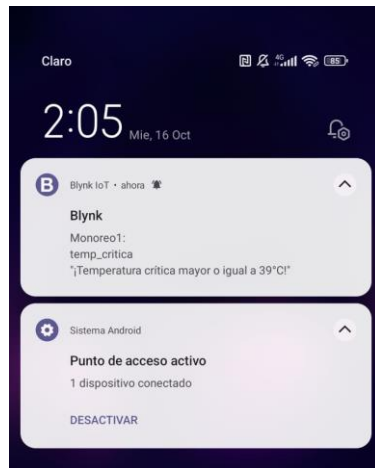


Imagen 4 - Alerta Móvil. [Autoría Propia]

Esta alarma se activa cuando la temperatura del sensor 1 (temp1 – Motobomba Presión de piscina) es mayor o igual a 39°C, Se registra un evento en Blynk con el mensaje "¡Temperatura crítica mayor o igual a 39°C!", mediante la función y se imprime en el monitor serial el mensaje "Alerta en Blynk: Temperatura crítica mayor o igual a 39°C", así como se presenta en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

```
Inicio
Si "temp1" >= 39
  Enviar alerta a Blynk: "temp_critica", "¡Temperatura crítica >= 39°C!"
  Consola: "Alerta: Temperatura crítica >= 39°C"
Sino, si "temp1" >= 38 Y "temp2" < 39
  Enviar alerta a Blynk: "temp_alta", "Temperatura alta: 38°C - 39°C"
  Consola: "Alerta: Temperatura alta: 38°C - 39°C"
Sino, si "temp1" >= 37 Y "temp2" < 38
  Enviar alerta a Blynk: "temp_moderada", "Temperatura moderada: 37°C - 38°C"
  Consola: "Alerta: Temperatura moderada: 37°C - 38°C"
Fin Si
Fin
```

Algoritmo 2 - Condiciones de Alerta

8.4 Desarrollo de prototipo *offline*

Un sistema de monitoreo que dependa exclusivamente de una red Wi-Fi puede presentar inconvenientes en situaciones donde la conexión es inestable o inexistente. Para mitigar esta limitación, se desarrolló un sistema *offline* en conjunto que permite la recopilación de datos sin depender de la red IoT. Este sistema emplea una memoria microSD para almacenar los datos de los sensores y un módulo RTC (Reloj en tiempo real) para registrar la hora exacta de cada medición. Además, se incorpora una fuente de alimentación externa de 12V para el ESP32.

Se diseñó una PCB específica para la instalación de los sensores de temperatura y humedad y el relé de estado sólido (SSR) representada en Figura 9. Esta PCB se organizó para asegurar una mejor disposición a la hora de conectar los sensores. De mismo modo se tuvo en cuenta las normas, teniendo un ancho de la pista de 0.7mm que permite el paso de la corriente máxima que no superara de los 500mA lo cual es el Amperaje máximo suportado por la ESP32, con una separación entre pistas de 2.4mm donde para la tensión manejada de 3,3v una separación de 0,3mm es suficiente, para los trasados de las pistas se evitaron los ángulos de 90 grados como indica la norma.

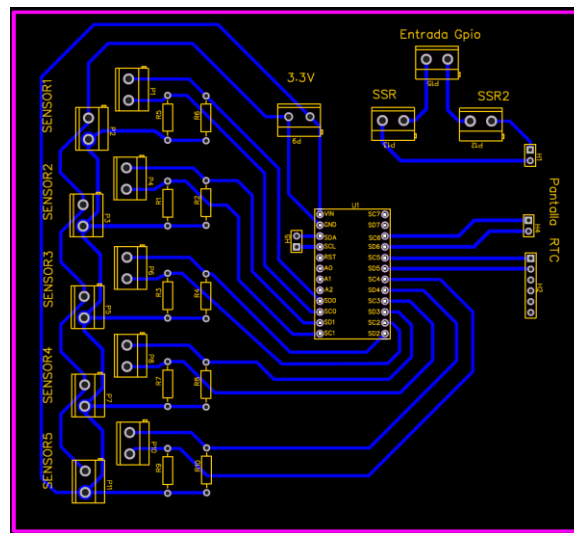


Figura 9 - PCB sensores layout. [Autoría Propia]

8.4.1 Pantalla LCD

La pantalla LCD permite el acceso rápido y directo a las lecturas más importantes del sistema (temperatura y humedad) sin depender exclusivamente de la app, lo cual es útil en entornos donde la conectividad a internet puede fallar. Proporcionando una retroalimentación inmediata y visual sobre el estado de los dispositivos (como las motobombas) que controlan el flujo de agua, lo cual es crucial para evitar fallos o malentendidos durante la operación. Para un operador o técnico que esté cerca del equipo, no es necesario revisar el celular o la app para saber qué está ocurriendo con el sistema, mejorando la eficacia del trabajo.

- **Visualización del estado de las motobombas (SSR1 y SSR2)**

Cuando se activan o desactivan las motobombas desde la app de Blynk (SSR1 para la piscina y SSR2 para la casa), la pantalla LCD muestra mensajes específicos como "Motobomba piscina encendida" o "Motobomba casa apagada" visualizado en Imagen 5 e Imagen 6. Es fundamental tener una retroalimentación visual en tiempo real sobre el estado de estos dispositivos.

Esto es especialmente útil si el sistema está ubicado en un lugar donde el acceso a la app no es inmediato, permitiendo a cualquier persona cercana verificar el estado de las motobombas sin necesidad de la app. También mejora la seguridad, ya que asegura que el operador sepa si el dispositivo está funcionando correctamente.

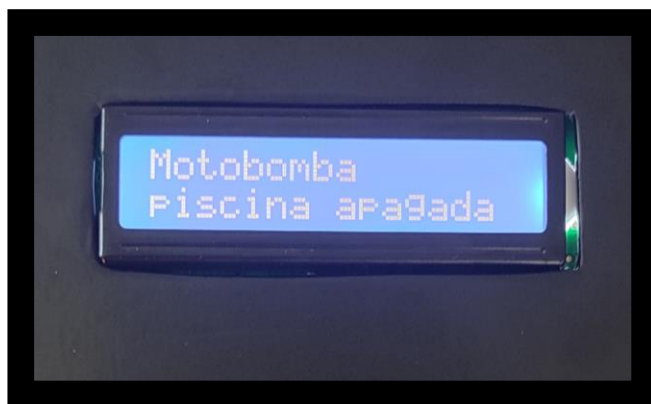


Imagen 5 - Motobomba Apagada. [Autoría Propia]

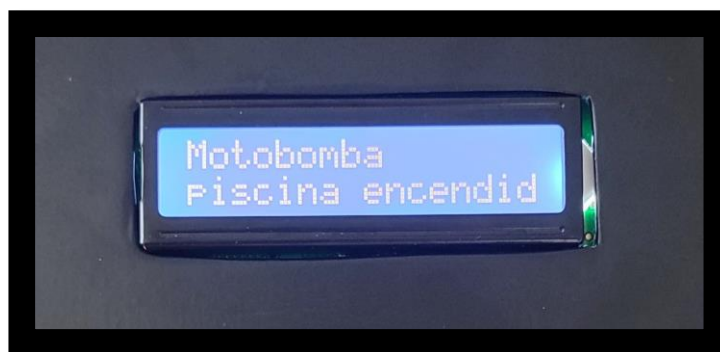


Imagen 6 - Motobomba encendida. [Autoría Propia]

- **Mostrar lecturas de temperatura y humedad de los sensores**

Cada 5 segundos, la pantalla LCD alterna entre las lecturas de temperatura y humedad de los diferentes sensores así como se ve en Imagen 7. La información que se muestra depende de cuál sensor se está leyendo en ese momento. Mostrar las lecturas de los sensores en la pantalla LCD es útil porque permite al operador del sistema tener una idea rápida de las condiciones ambientales sin la necesidad de recurrir al smartphone o la app. También puede ser esencial en situaciones donde la conexión WiFi falle o no esté disponible temporalmente, lo que haría que la app no pueda acceder a los datos, pero la pantalla LCD seguiría funcionando y proporcionando la información crucial.



Imagen 7 - Lectura sensores en pantalla LCD. [Autoría Propia]

- **Restauración de la pantalla a la vista de datos después de mostrar mensajes temporales**

Después de mostrar mensajes sobre el estado de las motobombas, la pantalla vuelve automáticamente a mostrar las lecturas de temperatura y humedad tras 5 segundos. Es importante que el sistema vuelva a un estado de monitoreo continuo de las lecturas ambientales después de mostrar cualquier tipo de notificación. Si la pantalla se quedara fija en el último mensaje, podría provocar confusión en cuanto al estado actual del sistema. Al hacer que la pantalla regrese a mostrar los datos del entorno, el sistema garantiza que la información crítica esté siempre disponible para quien la necesite.

8.4.2 Uso de la Memoria MicroSD para la Importación de Datos

La principal característica del sistema *offline* es la capacidad de registrar localmente los datos obtenidos de los sensores instalados en el cuarto de máquinas. Para lograr esto, se integró una tarjeta de memoria microSD en el prototipo, lo que permite almacenar grandes cantidades de datos sin necesidad de una conexión *Wi-Fi*.

Para gestionar el almacenamiento en la microSD, se utilizó la librería SD de Arduino, que permite abrir, leer y escribir archivos. Los datos recopilados, como la temperatura y la humedad, se almacenan en un archivo de texto (valores separados por comas), que pueden ser fácilmente analizados posteriormente y presentan una ocupación de espacio capaz de soportar el almacenamiento por meses.

Se utiliza la función `SD.open()` para abrir (o crear si no existe) un archivo llamado `datalog.txt` en la tarjeta SD. La operación se realiza en modo `FILE_APPEND`, lo que significa que los nuevos datos se agregarán al final del archivo sin sobrescribir la información previa.

Una vez abierto el archivo, el código comienza a escribir las lecturas de los sensores en el archivo así como se evidencia en Imagen 8. Cada línea en el archivo representa una "sección" o conjunto de datos que incluye:

- Un contador que identifica la sección de datos.
- La fecha y hora actual obtenida del módulo RTC (`rtc.now()`).
- Las lecturas de los cuatro sensores: temperatura y humedad.
- Los valores promediados de temperatura y humedad, calculados en otras partes del código usando un método de ponderación.

Una vez que todos los datos han sido escritos, es fundamental cerrar el archivo usando `dataFile.close()`. Esto asegura que los datos se guarden correctamente en la tarjeta SD y previene la corrupción de datos si hay una falla de energía o el dispositivo se reinicia.

Si por alguna razón no se puede abrir el archivo (por ejemplo, si la tarjeta SD no está correctamente insertada), el código imprime un mensaje de error en el monitor serial: "Error al abrir el archivo datos.txt". Esto permite al usuario identificar rápidamente problemas relacionados con el almacenamiento.

```
16, 2024-08-19 10:29:33, 31.03,88.27,33.03,84.71,31.20,89.99,35.40,43.27,31.82,87.88
17, 2024-08-19 10:29:47, 31.03,88.31,33.03,84.69,31.23,89.99,35.54,43.27,31.83,87.88
18, 2024-08-19 10:30:03, 31.03,88.30,33.01,84.79,31.23,89.99,35.60,43.31,31.82,87.92
19, 2024-08-19 10:30:18, 31.05,88.27,32.98,84.80,31.23,89.99,35.71,43.27,31.82,87.92
20, 2024-08-19 10:30:33, 31.03,88.31,32.97,84.84,31.24,89.99,35.70,43.23,31.81,87.94
21, 2024-08-19 10:30:48, 31.05,88.31,32.97,84.89,31.24,89.99,35.70,43.19,31.82,87.95
22, 2024-08-19 10:31:03, 31.03,88.29,32.97,84.87,31.24,89.99,35.78,43.17,31.81,87.94
23, 2024-08-19 10:31:18, 31.03,88.30,32.94,84.88,31.24,89.99,35.80,43.08,31.80,87.95
24, 2024-08-19 10:31:34, 31.03,88.32,32.94,84.88,31.24,89.99,35.85,43.09,31.80,87.95
25, 2024-08-19 10:31:49, 31.02,88.29,32.96,84.89,31.24,89.99,35.92,42.97,31.81,87.95
26, 2024-08-19 10:32:04, 31.05,88.34,32.94,84.94,31.23,89.99,35.92,42.93,31.80,87.97
27, 2024-08-19 10:32:19, 31.03,88.32,32.94,85.02,31.24,89.99,35.95,42.88,31.80,88.00
```

Imagen 8 - Visualización registro de almacenamiento

8.4.3 Uso del RTC (Reloj en tiempo real) para Registro Temporal

Para garantizar que cada medición sea registrada con su respectiva marca temporal, se utilizó un módulo RTC, como el DS3231. Este dispositivo proporciona la hora y la fecha exacta, incluso cuando el sistema está desconectado de la corriente, gracias a una pequeña batería interna que mantiene el reloj en funcionamiento. De esta forma, se puede llevar a cabo un seguimiento preciso de cuándo se tomaron las mediciones, lo cual es crucial para el análisis posterior de los datos.

El RTC fue configurado para enviar la hora actual al microcontrolador ESP32, que luego la incorpora junto con los datos del sensor en los registros de la microSD. Esta integración garantiza que cada medición tenga su correspondiente marca de tiempo, proporcionando un historial detallado del comportamiento ambiental.

El código se asegura de que el RTC esté funcionando correctamente. Si no es así, el sistema no sigue ejecutándose y te avisa en el monitor serial que hay un problema con el RTC. Cada vez que el `loop()` se ejecuta, el código lee la hora actual del RTC. Esto asegura que los datos de los sensores estén siempre registrados con una marca de tiempo precisa.

El código extrae los valores de año, mes, día, hora, minuto y segundo del objeto `DateTime` (`now`) y los imprime en el formato adecuado. Esta misma estructura se usa tanto para Almacenar los datos en la tarjeta SD como para mostrarlos en el monitor serial. Para registrar los datos con un *timestamp* cuando se almacenan en el archivo `datalog.txt` en la tarjeta SD.

8.4.4 Fuente de Alimentación Externa de 12V para el ESP3

Con el fin de lograr un sistema únicamente dependiente de la energía de la vivienda, se usó una fuente de alimentación externa de 12V para el ESP32. Esta fuente de alimentación garantiza que el sistema proporcione la tensión y corriente necesaria para cada uno de sus componentes.

8.4.5 Uso de Botones para encendido y apagado de motobombas

Aunque el sistema de apagado de la motobomba ya cuenta con una aplicación para su control, incorporar botones físicos ofrece varias ventajas importantes, especialmente en términos de seguridad y accesibilidad.

Los botones físicos aportan redundancia y seguridad. Esto significa que, en caso de que la aplicación falle o pierda conexión, los botones permiten encender o apagar la motobomba de forma directa e inmediata, lo cual es esencial en situaciones donde la seguridad no puede depender únicamente de una conexión en línea. Además, en casos de emergencia, el acceso físico es más rápido, ya que el botón siempre está a la mano, sin necesidad de desbloquear un dispositivo, ni abrir una aplicación. Esto resulta crucial en situaciones de riesgo, como un sobrecalentamiento o una falla repentina, donde detener la motobomba a tiempo puede evitar daños al equipo y prevenir posibles accidentes.

8.4.6 Sistema de alerta

Este sistema tiene dos componentes principales: el uso de un buzzer para alertas sonoras junto con el uso de un SSR para gestionar el sistema de apagado de emergencia de las motobombas y la alerta temprana mediante notificaciones sonoras y visuales según la temperatura registrada.

Control del SSR y alerta del buzzer

Cuando la temperatura del sensor 1 excede los 40°C, se activa el buzzer y se apaga el SSR. El buzzer sigue activo hasta que la temperatura vuelva a un nivel seguro, en cuyo caso se apaga el buzzer y el sistema vuelve a la normalidad, permitiendo usar de nuevo las motobombas según se requiera.

```
Inicio
  Si "temp1" > 40
    Activar buzzer
    Apagar SSR
    Apagar SSR2
    "buzzerActive" = true
  Sino, si "buzzerActive" = true Y "temp2" <= 39
    Desactivar buzzer
    "buzzerActive" = false
  Fin Si
Fin
```

Algoritmo 3 - Apagado automático

8.4.7 Diseño Carcasa

En el diseño de carcasa, se desarrolló un modelo en 3D personalizado para alojar de manera correcta los componentes del sistema, utilizando SketchUp como herramienta de diseño. Este modelo incluyó las dimensiones precisas para albergar tanto la PCB como la placa expansora de ESP32, asegurando una integración ajustada y segura dentro de la estructura.

La carcasa se diseñó con aberturas estratégicas para facilitar la conexión y el funcionamiento de cada componente. Estas aberturas permiten el acceso a los sensores y al relé de estado sólido (SSR), así como una entrada para la conexión de alimentación de 12V. La disposición de las aberturas y el diseño general de la carcasa están pensados para facilitar la protección de los componentes electrónicos, este diseño proporciona una estructura robusta y ergonómica que soporta el monitoreo.

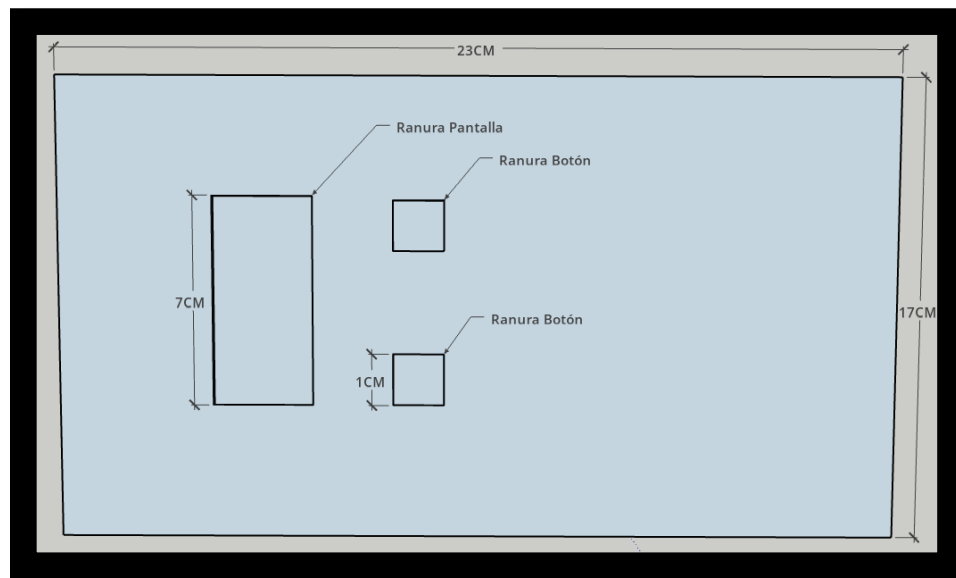


Figura 10 - Dimensiones carcasa frontal. [Autoría Propia]

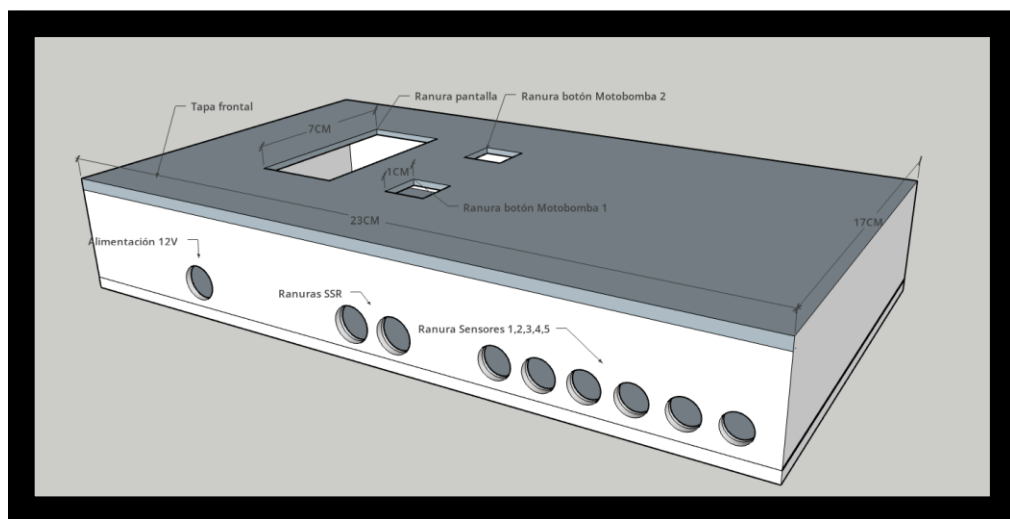


Figura 11 - Dimensiones carcasa lateral. [Autoría Propia]

Este modelo en 3D representa una carcasa rectangular diseñada para albergar una PCB con diversos componentes electrónicos. La carcasa cuenta con dimensiones amplias, con un largo de 23 cm y un ancho de 17 cm. En la parte superior de la carcasa, se observa una ranura rectangular diseñada para una pantalla, que permitirá visualizar información en tiempo real. Junto a esta, hay dos pequeñas aperturas cuadradas que servirán como puntos de acceso para botones dedicados a controlar dos motobombas, proporcionando un control físico y accesible sobre el sistema.

El lado frontal de la carcasa presenta varias aperturas circulares. A la izquierda, una apertura se destina a la entrada de alimentación de 12V, mientras que hacia el centro y el extremo derecho se encuentran una serie de ranuras adicionales para instalar los relés de estado sólido (SSR) y los sensores necesarios para monitorear condiciones como la temperatura y la humedad.

A continuación, se presenta una visualización del diagrama de conexiones en Diagrama 2 y su contenido de las conexiones para el diseño planteado se representa en Figura 12.

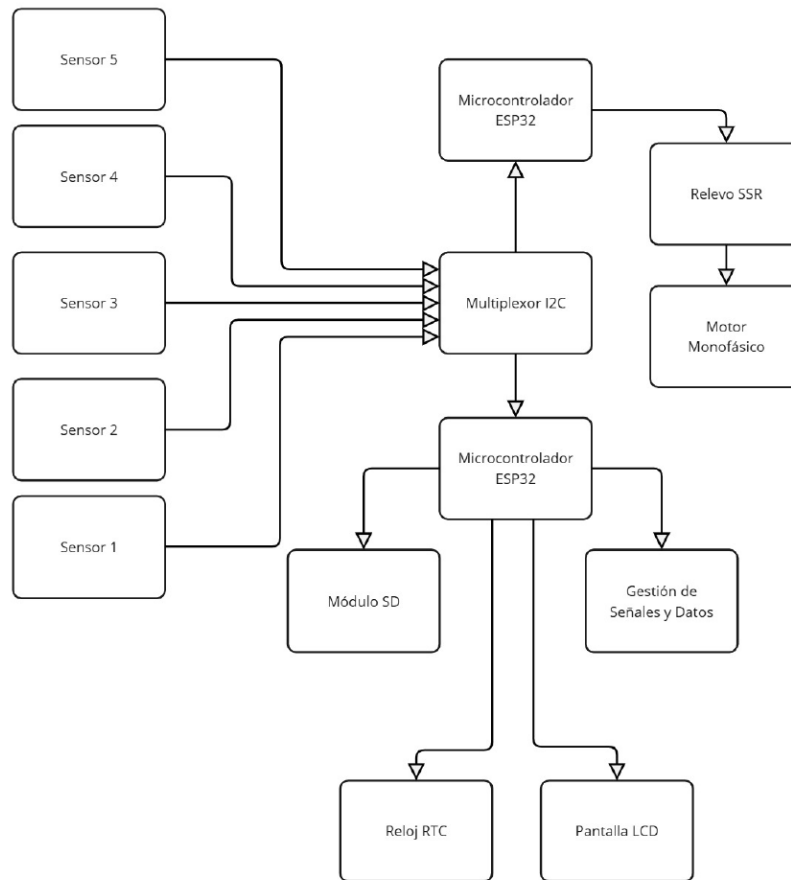


Diagrama 2 -Diseño Diagrama de conexiones

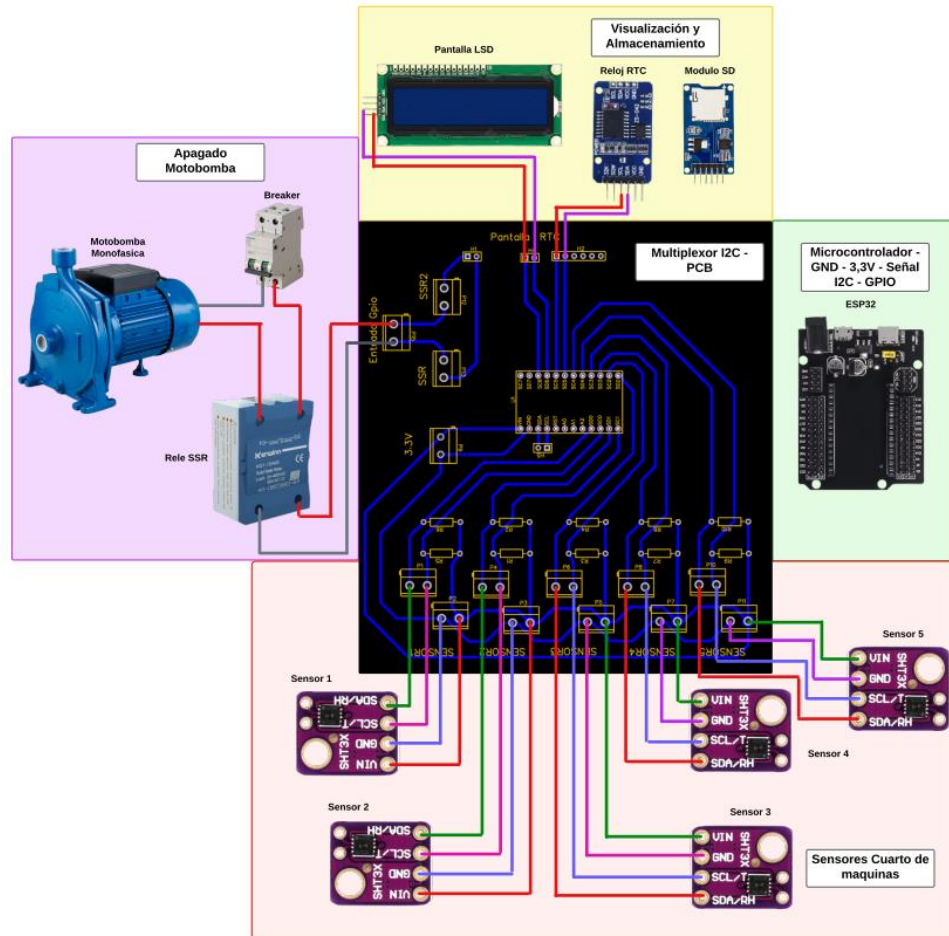


Figura 12 – Diseño Conexiones

El diagrama de conexiones muestra un sistema de monitoreo y control para el cuarto de máquinas. Cinco sensores de temperatura y humedad se conectan a un multiplexor I2C, permitiendo gestionar múltiples señales de forma eficiente. Un relé SSR controla una motobomba monofásica, mientras que un breaker protege el sistema eléctrico.

Para visualizar y almacenar datos, el sistema incluye una pantalla LCD y un módulo de tarjeta SD, sincronizados mediante un RTC (reloj de tiempo real). Todo esto se organiza a través de una PCB, conectada a un ESP32 que gestiona las señales, el control de la motobomba y el almacenamiento de datos, integrando el monitoreo y control en tiempo real.

8.5 Análisis de patrones y comportamiento

Para el análisis de datos, se comenzó con la toma de mediciones de temperatura y humedad mediante el sensor SHT30. Una vez que los datos fueron recopilados, se almacenaron en un archivo de texto (.txt) en una tarjeta micro SD para su posterior análisis. A continuación, se realizó una preparación de los datos, que incluyó la eliminación de valores inválidos o anómalos para garantizar que el conjunto de datos estuviera limpio y listo para su análisis. Estos datos depurados fueron luego cargados en un conjunto de datos (*dataset*), que en este caso se almacenó en Google Drive para su fácil acceso y manipulación. Finalmente, los datos fueron procesados en Python, utilizando diversos modelos de análisis de datos y técnicas de visualización gráfica para obtener resultados significativos y representaciones visuales de los mismos, este modelo toma como nombre sistema integrado de monitoreo y procesamiento de datos y se representa en el Imagen 9.

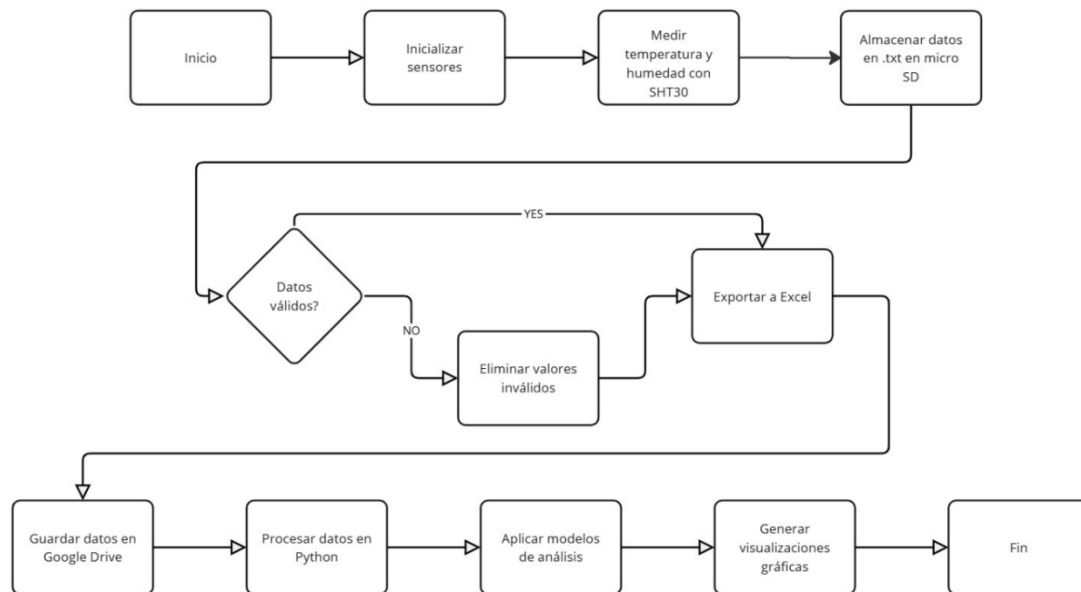


Imagen 9 - Sistema Integrado de Monitoreo y Procesamiento de Datos

El análisis de patrones y comportamiento es una herramienta fundamental en la interpretación de datos, especialmente en el contexto de estudios relacionados con la temperatura y su impacto en diversos fenómenos. En este apartado a través de la identificación y comprensión de patrones en los datos, es posible descubrir tendencias y relaciones que no son evidentes a simple vista. Este análisis permite a los investigadores y profesionales no solo describir el comportamiento de las variables, sino también predecir comportamientos futuros y tomar decisiones informadas basadas en evidencia cuantitativa.

8.5.1 Regresión polinómica

En sistemas como el monitoreo de temperatura en un cuarto de máquinas, las variables de temperatura pueden no seguir una relación lineal directa, especialmente si hay múltiples fuentes de calor, fluctuaciones externas o condiciones dinámicas. Por ejemplo, si hay un aumento no constante en las temperaturas debido a la influencia de diferentes equipos, el uso de un modelo polinómico puede ayudar a capturar estas relaciones complejas.

Si los datos siguen una relación no lineal (por ejemplo, cuando los incrementos en temperatura no son proporcionales), la regresión lineal podría no capturar adecuadamente la tendencia, mientras que una regresión polinómica de grado mayor podría ajustarse mejor.

El modelo polinómico tiene la capacidad de capturar interacciones entre múltiples variables que podría ser crucial en ambientes donde las variables no son independientes entre sí. Por ejemplo, la influencia de una variable de temperatura podría verse afectada por otra, y un modelo polinómico puede modelar esas combinaciones de efectos. Si Temp1 y Temp2 aumentan de manera conjunta, podrían tener un efecto combinado en la temperatura ambiente (TempAmbiente), que una regresión lineal no detectaría, pero una polinómica sí.

A pesar de modelar relaciones complejas, el modelo de regresión polinómica no requiere de un procesamiento computacional alto como algunos modelos más avanzados (por ejemplo, redes neuronales), pero puede proporcionar buenos resultados, lo que lo convierte en una herramienta accesible donde el diagrama de flujo presentara el algoritmo para esta implementación en Diagrama 3 .

8.5.1.1 Implementación de regresión polinómica en Python

Carga y revisión de los datos

Se utiliza la librería Pandas para leer el archivo Excel que contiene los datos de temperatura y Almacenarlos en un *DataFrame* *df*.

Conversión y verificación de datos

El *datetime* convierte los valores de la columna Hora al formato de fecha y hora para facilitar el análisis temporal si fuera necesario. La suma de los valores nulos muestra cuántos valores nulos tiene cada columna. No hay valores nulos, lo cual es ideal, ya que los valores nulos pueden causar problemas al entrenar modelos.

Selección de las variables

- Variables independientes (X): Se eligen las columnas que contienen las temperaturas (Temp1, Temp2, Temp3, TempAmbiente).
- Variable dependiente (y): Se selecciona el "Temp4", que será el valor a predecir.

División de los datos en entrenamiento y prueba

Se dividen los datos en un conjunto de entrenamiento (80%) y un conjunto de prueba (20%).

- Entrenamiento: Se utilizan estos datos para ajustar el modelo.
- Prueba: Estos datos sirven para evaluar el modelo y ver cómo predice datos no

vistos.

Creación de características polinómicas

Polynomial Features transforma las variables independientes (X) para agregar combinaciones polinómicas de segundo grado (cuadráticas). La regresión polinómica permite modelar relaciones no lineales entre las variables, aumentando el poder predictivo del modelo si hay una relación no lineal entre las variables.

- **Ajuste y transformación:** *fit transform* Ajusta el modelo polinómico a los datos de entrenamiento y transforma estos datos y *transform*: Transforma los datos de prueba con las mismas características polinómicas.

Se transforma el conjunto de datos original X en un conjunto ampliado de características polinómicas. Si X tiene n variables independientes (x_1, x_2, \dots, x_n), al aplicar un polinomio de grado d , las nuevas características incluyen todos los términos de grado $\leq d$. Por ejemplo, para $d = 2$, el conjunto de características sería:

$$x_1, x_2, \dots, x_n, x_1^2, x_2^2, \dots, x_n^2$$

El número total de términos generados viene dado por:

$$\text{Total de características} = \binom{n+d}{d} = \frac{(n+d)!}{n!d!} \quad \text{Ec 3}$$

Ajuste del modelo de regresión

Se ajusta un modelo de regresión lineal utilizando las características polinómicas generadas. La regresión lineal encuentra la mejor combinación lineal de las características (en este caso, las características polinómicas) para predecir la variable dependiente.

Después de transformar x a $xpoly$ (las características polinómicas), el modelo ajusta un modelo lineal que minimiza la suma de los errores al cuadrado. La ecuación general es:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad \text{Ec 4}$$

Donde:

β_0 = Intercepto (Termino Constante)

$\beta_1 \beta_2 \dots \beta_n$ = Coeficientes que el modelo ajusta

ε = Error o residuo

El ajuste se realiza minimizando la suma de los errores cuadrados:

$$y = \sum_{i=1}^m (y_i - (y_i - \hat{y}_i))^2 \quad \text{Ec5}$$

El valor óptimo de los coeficientes β se calcula como:

$$\beta = (Xpoly^T Xpoly)^{-1} Xpoly^T y \quad \text{Ec6}$$

Predicciones en el conjunto de prueba y Evaluación del modelo

Permite evaluar la precisión del modelo al predecir datos nuevos en base a la variable independiente.

Se calculan las métricas de evaluación:

- MSE (Error cuadrático medio): Mide la diferencia media entre los valores reales y las predicciones. Un MSE bajo indica que las predicciones son cercanas a los valores reales.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y^{\wedge}_i)^2 \quad \text{Ec7}$$

Donde:

n : Numero de muestras en el conjunto de prueba

y_i = Valor real

y^{\wedge}_i = Valor Predicho

- R^2 (Coeficiente de determinación): Indica qué tan bien el modelo captura la variabilidad de los datos. Un valor cercano a 1 significa que el modelo es muy preciso.

El R^2 mide la proporción de la varianza total de y explicada por el modelo. Se calcula como:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - y^{\wedge}_i)^2}{\sum_{i=1}^m (y_i - y_i^-)^2} \quad \text{Ec 8}$$

Donde:

y_i^- = Promedio de los valores reales y_i

R^2 toma valores entre 0 y 1, siendo 1 un ajuste perfecto.

Visualización de resultados

Se genera un gráfico de dispersión que muestra la relación entre los valores reales y las predicciones. La línea ajustada indica qué tan bien las predicciones coinciden con los valores reales.

8.5.2 Random Forest

El Random Forest es una herramienta clave para analizar y predecir relaciones entre variables dependientes e independientes en sistemas complejos como un cuarto de máquinas. En este caso, se seleccionó la temperatura registrada por un sensor alejado como variable dependiente, representando el estado térmico global, mientras que las temperaturas cercanas y ambientales se usaron como variables independientes.

El modelo fue implementado en Python, abarcando etapas como la división de datos, entrenamiento, evaluación con métricas (MSE y R²) y ajuste de hiperparámetros. Además, se identificaron las variables más influyentes mediante la importancia de características, lo que optimiza el monitoreo y las estrategias de mantenimiento predictivo. Este enfoque permite mejorar la gestión térmica y prevenir fallas en el sistema, donde el diagrama de flujo presentara el algoritmo para esta implementación en Diagrama 4.

El modelo random forest combina múltiples árboles de decisión para mejorar la precisión y reducir el sobreajuste.

Cada árbol se entrena con una muestra aleatoria del conjunto de datos (*bootstrap*) y selecciona aleatoriamente un subconjunto de características para cada división. El algoritmo utiliza criterios como la suma de errores cuadrados (SSE) para dividir los nodos:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - Y^i)^2 \quad \text{Ec 9}$$

Y_i = valor real

Y^i = Valor predicho por el nodo actual

n = Numero de observaciones

Para la regresión, el resultado final es el promedio de las predicciones de todos los árboles:

$$Y^{\wedge} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T Y^{\wedge(t)} \quad \text{Ec 10}$$

Donde

T : Número total de árboles.

$Y^{\wedge(t)}$: Predicción del árbol t .

La importancia de una característica X_i se calcula como la reducción promedio de error en los nodos donde X_i se utiliza para dividir:

$$\text{Importancia}(X_i) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \Delta \text{Error}_t(X_i) \quad \text{Ec 11}$$

Variables Dependientes e Independientes

En un análisis de datos, las variables dependientes e independientes juegan un papel fundamental para entender la relación entre los factores estudiados.

- **Variable Independiente**

La variable independiente es aquella que se controla, manipula o selecciona para investigar cómo afecta a otra variable. En un análisis, estas variables se utilizan como entradas o predictores para modelar una relación o predecir el comportamiento de otra variable. Su principal característica es que no depende de otras variables dentro del estudio, sino que actúa como la causa o el factor que genera un cambio.

- **Variable Dependiente**

La variable dependiente es aquella que se observa y mide en respuesta a los cambios en las variables independientes. Se trata de la variable cuyo valor se quiere predecir o explicar. En términos generales, es el resultado o efecto de los cambios en las variables independientes, y se espera que varíe en función de ellas.

El uso del sensor alejado de las motobombas como variable dependiente tiene sentido si se asume que la temperatura en ese punto es representativa de un estado global del cuarto de máquinas. Es decir, si se considera que las temperaturas de los otros sensores están influenciando en el comportamiento térmico del sensor alejado es razonable usarlo como la variable dependiente para tener una referencia general del cuarto de máquinas. Para la selección de la variable dependiente se tuvo en cuenta los siguientes criterios:

1. **Representatividad global:** Si el sensor alejado proporciona una medida más estable o integrada de la temperatura en el cuarto. Este sensor podría reflejar una mezcla de los efectos de las motobombas y otras posibles fuentes de calor, funcionando como una referencia.
2. **Relación lógica:** Si la variación en la temperatura de las motobombas y el sensor intermedio entre ellas tiene un efecto significativo en el sensor alejado (lo que se puede validar con un análisis previo de correlación).

8.5.2.1 Implementación de Random Forest en Python

División del conjunto de datos: El código primero divide el conjunto de datos en un conjunto de entrenamiento X_{train} , Y_{train} y uno de prueba X_{test} , Y_{test} . Esto es importante para evaluar el rendimiento del modelo en datos nuevos que no ha visto antes.

Entrenamiento del modelo

Se crea una instancia del *RandomForestRegressor* y se entrena con los datos a usar.

- Se entrenan múltiples árboles de decisión, y cada uno recibe un subconjunto de las características (temperaturas como Temp1, Temp2, Temp3, TempAmbiente).
- Cada árbol intenta predecir el valor objetivo, que en este caso es el promedio de las temperaturas (Temp4). Al final, el bosque promedia las predicciones de todos los árboles.

Predicción y evaluación

Una vez entrenado, el modelo hace predicciones sobre el conjunto de prueba:

Se realiza el cálculo Mean Squared Error (MSE) y el R^2 :

Importancia de las características:

Se genera una tabla donde puedes ver qué temperatura (o combinación de temperaturas) tiene más impacto en la predicción del promedio de las temperaturas.

Validación cruzada: La validación cruzada *cross val score* divide los datos en 5 partes y entrena el modelo 5 veces, cada vez usando un 80% de los datos para entrenar y el 20% restante para validar

Ajuste de hiperparámetros

El código también usa *GridSearchCV* para encontrar los mejores *hiperparámetros* del *Random Forest*. Esos parámetros son los que controlan el comportamiento del modelo:

- Profundidad máxima de los árboles.
- Número de árboles en el bosque.
- Número mínimo de muestras para dividir un nodo.

8.5.3 Correlación de Kendall

8.5.3.1 Implementación de Correlación de Kendall en Python

La correlación de Kendall mide la asociación entre pares de variables, identificando si una variable tiende a aumentar o disminuir en función de los cambios en otra. Es especialmente útil cuando no se asume una relación estrictamente lineal, permitiendo analizar relaciones monótonas en datos como los de temperatura y humedad en un entorno de cuarto de máquinas, donde las condiciones pueden variar de forma no lineal, donde el diagrama de flujo presentara el algoritmo para esta implementación en Diagrama 4.

Se inicia calculando la matriz de correlación de Kendall entre las variables seleccionadas, generando una tabla que muestra los coeficientes de correlación de cada par de variables. Luego, esta matriz se imprime en la consola para una revisión rápida de los valores, lo que ayuda a identificar rápidamente las relaciones más fuertes o débiles entre las variables.

La tau de Kendall mide la concordancia entre dos variables, basada en los pares concordantes y discordantes. La fórmula es:

$$\tau = \frac{C-D}{\sqrt{(n_0-n_1)(n_0-n_1)}} \quad \text{Ec 12}$$

Donde

C = Número de pares concordantes

D: Número de pares discordantes

$n_0 = \frac{n(n-1)}{2}$: Número total de pares posibles

n_1 : Número de pares con valores iguales en la primera variable

n_2 Número de pares con valores iguales en la segunda variable

Finalmente, se visualiza la matriz de correlación mediante un heatmap (mapa de calor). Este

gráfico utiliza colores para representar la intensidad y dirección de las correlaciones: los tonos cálidos indican correlaciones positivas fuertes, mientras que los tonos fríos representan correlaciones negativas. Los valores de correlación se muestran numéricamente en cada celda, lo cual facilita la interpretación detallada y la identificación de patrones.

8.6.1 Resultados de análisis sensores de temperatura

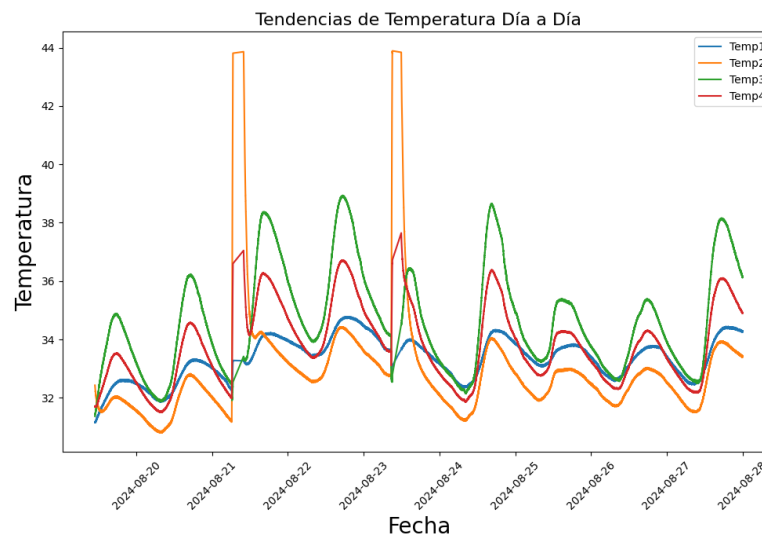
Teniendo en cuenta que la ubicación de los sensores es:

- Sensor 1 (Temp1 y Hum1) - Zona Fría cuarto de máquinas.
- Sensor 2 (Temp2 y Hum2) - Motobomba Presión piscina.
- Sensor 3 (Temp3 y Hum3) - Motobomba Presión Casa.
- Sensor 4 (Temp4 y Hum4) - Punto intermedio cuarto de máquinas.

Se implementarán los siguientes modelos de análisis de datos.

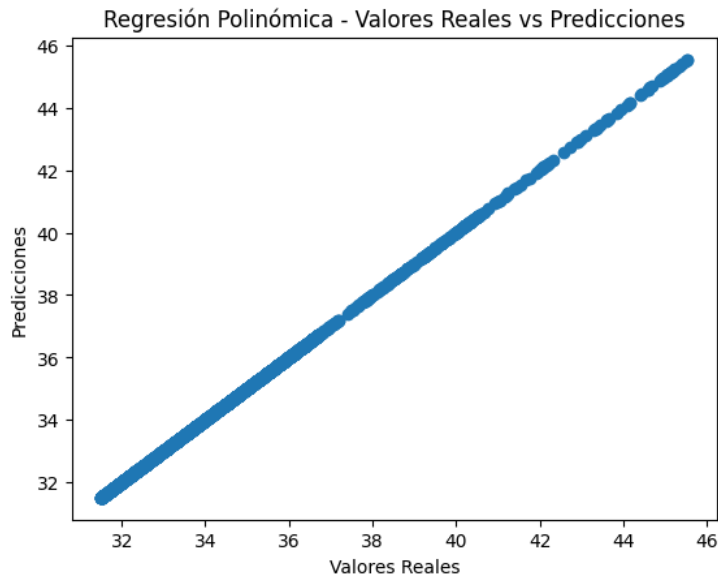
8.6.1.1 Tendencias de temperatura Día a Día

La Grafica 2 muestra las tendencias de temperatura registradas por cuatro sensores durante varios días en agosto teniendo en cuenta que el cuarto de máquinas se operó por los días 21 y 23. Se observa un patrón diario de aumento y disminución, con Temp3 registrando los picos más altos superando 42°C y Temp4 los valores más bajos. Estos picos, especialmente en Temp3, son indicativos de posibles sobrecargas térmicas que podrían haber ocurrido durante el funcionamiento del sistema. Las sobrecargas térmicas ocurren cuando los componentes del sistema, como los motores o equipos de alto consumo energético, generan más calor del que el sistema puede manejar. Este exceso de calor puede dañar los componentes, reducir la eficiencia operativa y, en algunos casos, incluso provocar fallas en el sistema.



Grafica 2 - Tendencia temperatura mes agosto sensores de temperatura. [Autoría Propia]

8.6.1.2 Análisis de Regresión Polinómica



Grafica 3 - Regresión Polinómica Sensores Temperatura. [Autoría Propia]

La Grafica 3 muestra una dispersión de los valores reales vs. las predicciones. Los puntos forman una línea diagonal casi perfecta desde la esquina inferior izquierda hasta la esquina superior derecha, lo que indica una fuerte correlación entre los valores reales y las predicciones.

Análisis de los resultados:

- **MSE (Mean Squared Error):** 8.371767329598367e-06

Este valor es extremadamente bajo, lo que sugiere que el modelo tiene un excelente ajuste y que los errores entre las predicciones y los valores reales son mínimos.

- **R² (Coeficiente de Determinación):** 0.9999971972735945

Un valor de R² tan cercano a 1 indica que casi toda la variabilidad en los datos de la temperatura promedio (Temp4) puede ser explicada por las temperaturas independientes (Temp1, Temp2, Temp3, TempAmbiente).

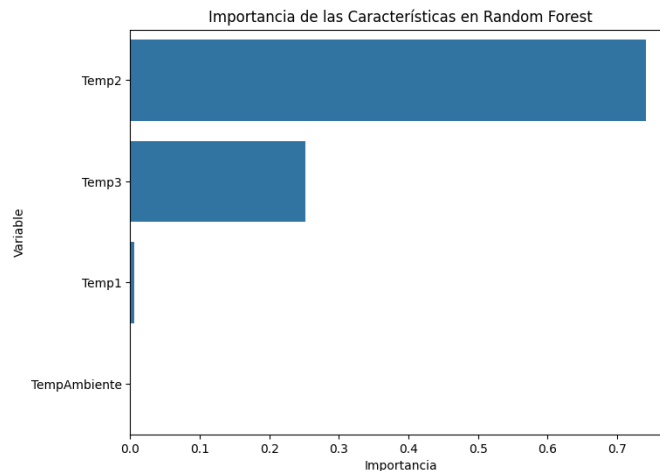
Estos resultados muestran que el modelo de regresión polinómica tiene un desempeño excelente para predecir los valores de Temp4 basándose en Temp1, Temp2, Temp3 y TempAmbiente.

8.6.1.3 Análisis de Random Forest Temperatura

Conocer qué sensores detectan anomalías en los cambios de temperatura facilita la configuración de umbrales de alerta específicos para prevenir sobrecalentamientos. Esta capacidad de detección temprana permite intervenciones preventivas antes de que los problemas puedan dañar los equipos, minimizando así el riesgo de fallos, reduciendo el tiempo de inactividad y los costos de reparación, seguridad y la facilidad operativa del sistema.

La importancia de una característica generalmente se calcula como la reducción total

(normalizada) del criterio (p. ej., impureza de Gini o error cuadrático medio) traída por esa característica en todos los árboles del bosque. Esto significa que cuanto mayor sea la importancia, mayor es la contribución de esa característica a la mejora del rendimiento del modelo así como se ve en Grafica 4.



Grafica 4 - Importancia Características sensores de temperatura. [Autoría Propia]

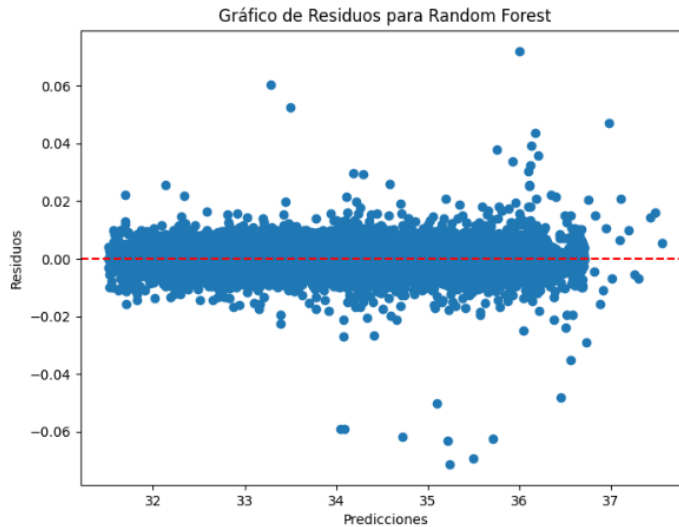
- **Importancia de las características:** La variable Temp2 tiene la mayor importancia (0.741), seguida de Temp3 (0.252), mientras que Temp1 (0.006) y TempAmbiente (0.001) tienen una influencia mínima en el modelo. Esto indica que Temp2 y Temp3 son las variables que más contribuyen a predecir el promedio de las temperaturas internas.
- **Métricas del modelo:** El modelo muestra un MSE muy bajo ($2.519e-5$) y un R^2 alto (0.9999), lo cual sugiere que el modelo es preciso para predecir el promedio de temperaturas internas basándose en las variables de entrada.

Análisis del Gráfico de Residuos para temperatura

Los residuos (mostrados en el eje vertical del gráfico) representan la diferencia entre los valores observados (reales) y las predicciones del modelo. Se calculan como:

$$\text{Residuos} = \text{Valores Reales} - \text{Predicciones} \quad \text{Ec 3}$$

Un residuo positivo indica que el valor observado es mayor que el valor predicho, mientras que un residuo negativo indica que el valor observado es menor que el valor predicho visualizados en Grafica 5.



Grafica 5 - Residuos [Autoría Propia]

- **Distribución de Residuos y Patrones de Residuos:**

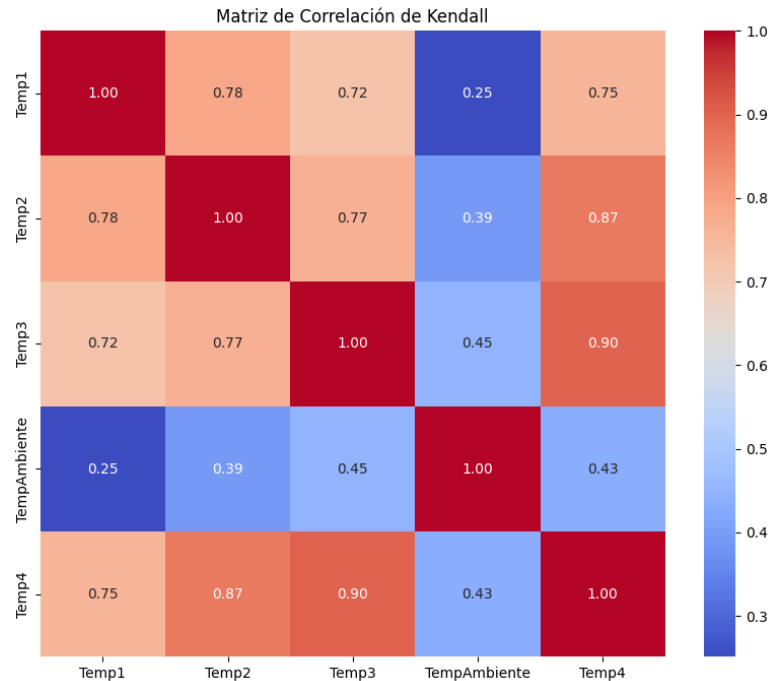
Los residuos están concentrados en torno a 0, lo que indica que el modelo predice con bastante precisión la mayor parte de los datos, ya que la mayoría de los residuos son pequeños. Sin embargo, se observan algunos valores residuales que se alejan más de 0, lo que podría sugerir ciertos datos atípicos o situaciones donde el modelo tiene más dificultad para ajustarse a los datos. No parece haber un patrón claro en la distribución de los residuos, lo cual es positivo, ya que indica que el modelo no está sesgado y que los errores de predicción están distribuidos aleatoriamente. No obstante, en el extremo derecho del gráfico (alrededor de las predicciones de 36 a 37), se observan residuos más dispersos y algunos valores fuera de lo común. Esto puede ser un indicio de que el modelo tiene menor precisión en ese rango de predicción.

Validación Cruzada y Mejores Parámetros del Modelo Random Forest

- **MSE promedio:** El error cuadrático medio (MSE) promedio en la validación cruzada es 0.0419, lo cual indica un error bajo en las predicciones. Esto sugiere que el modelo tiene un buen rendimiento general al predecir el promedio de las temperaturas internas.
- **Mejores parámetros:** Los mejores parámetros encontrados fueron `max_depth=20`, `min_samples_split=2`, y `n_estimators=200`. Estos parámetros indican que el modelo es profundo, lo cual puede ser efectivo en la captura de patrones complejos, pero también existe el riesgo de sobreajuste, especialmente considerando el número de estimadores y la profundidad máxima del modelo.

8.5.4.4 Análisis de la Correlación de Kendall Temperatura

La matriz de correlación de Kendall muestra las relaciones de orden entre las variables de temperatura visualizada en Grafica 6.



Grafica 6 - Matriz de correlación sensores de temperatura. [Autoría Propia]

- **Temp4 con Temp3:** La mayor correlación se encuentra entre Temp3 y temp4 de las temperaturas internas (0.901), lo que indica que Temp3 es la variable que más influye en el promedio.
- **Temp4 con Temp2:** También muestra una alta correlación con Temp2 (0.868), lo que la convierte en la segunda variable más influyente en el promedio.
- **Temp4 con Temp1:** La correlación entre Temp1 y temp4 es más baja (0.755), lo cual sugiere que su influencia es menor en comparación con Temp2 y Temp3.
- **TempAmbiente y Temp4:** La correlación con la temperatura ambiente es moderada (0.434), lo que sugiere que la temperatura externa tiene cierta influencia en las temperaturas internas, pero no es tan fuerte como las correlaciones entre las temperaturas internas.

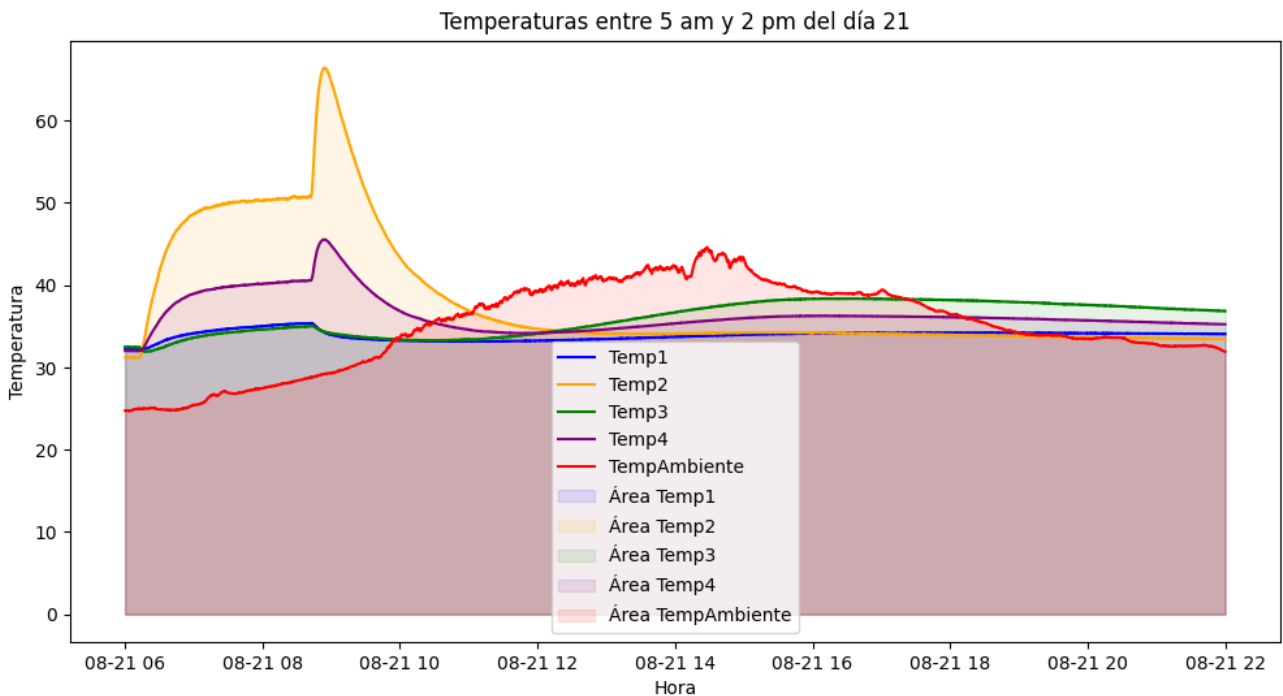
8.5.4.5 Área entre graficas

Para el análisis del área entre gráficas, se seleccionaron intervalos específicos en los que el cuarto de máquinas está en funcionamiento durante períodos prolongados. Estos intervalos son cruciales, ya que representan momentos en los que las condiciones de temperatura y humedad suelen alcanzar valores altos debido al uso continuo de los equipos. Al enfocarnos en estas mediciones relevantes, se pueden observar cambios significativos en el ambiente, lo que permite obtener resultados de análisis más seguros.

Para medir la variación acumulada en temperatura y humedad, se utilizó el cálculo del área bajo la curva en los intervalos seleccionados. Al comparar las áreas bajo las curvas de las diferentes variables, se puede observar la magnitud de las fluctuaciones y su duración a lo largo del día. Este enfoque permite inferir cómo las condiciones en el cuarto de máquinas se ven afectadas y cuáles son los momentos de mayor carga térmica o de alta humedad, factores críticos para el desgaste y el correcto funcionamiento de los equipos.

Día 21 - mes 8

En el contexto del cuarto de máquinas, el área bajo la curva de temperatura se interpreta como una indicación de la carga térmica acumulada a lo largo de tiempo visualizada en Grafica 7 y Grafica 8.



Grafica 7 - Área entre graficas día 21 sensores de temperatura. [Autoría Propia]

- **(Temp1) - Área bajo la curva: 1952169.03**

Este valor indica que Temp1 registró una temperatura más baja en comparación con los otros sensores entre las 5 am y las 2 pm.

- **(Temp2) - Área bajo la curva: 2200119.99**

Temp2 presenta el valor de área más alto, lo que significa que la temperatura en este punto fue la más alta durante el intervalo. Este resultado sugiere que el área donde está colocado este sensor experimentó mayor exposición al calor o tuvo menos enfriamiento en ese período.

- **(Temp3) - Área bajo la curva: 2070485.11**

El área bajo la curva para Temp3 muestra un valor intermedio, lo que sugiere que las temperaturas en esta ubicación fueron moderadas, ni demasiado altas ni bajas, comparadas con los otros sensores.

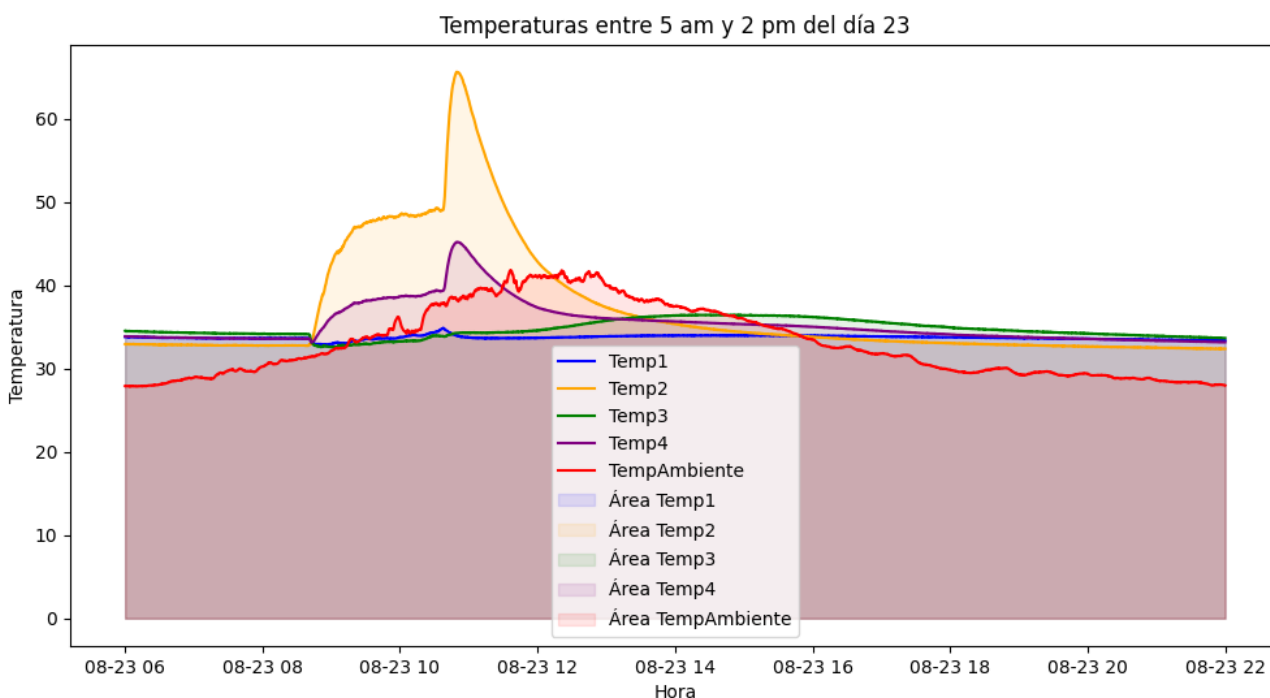
- **(Temp4) - Área bajo la curva: 2070485.11**

Al igual que Temp3, Temp4 muestra exactamente el mismo valor de área bajo la curva. Esto indica que las condiciones térmicas en este sensor fueron muy similares a las de Temp3, lo que podría deberse a una ubicación cercana o condiciones térmicas similares.

- **Temperatura Ambiente - Área bajo la curva: 2020504.33**

La Temperatura Ambiente se encuentra ligeramente por encima de Temp1, pero aún por debajo de Temp2. Esto sugiere que la temperatura ambiente fue más cercana al promedio general de las temperaturas registradas en la sala, pero no fue la más alta ni la más baja.

Día 23 – mes 8



Grafica 8 - Area entre graficas dia 23 sensores de temperatura. [Autoría Propia]

- **(Temp1) - Área bajo la curva: 1952169.03**

Temp1 tiene el área más baja en comparación con los otros sensores, lo que indica que la temperatura registrada por este sensor fue menor en el período entre las 5 am y las 2 pm. Esto sugiere que la zona donde está ubicado Temp1 tuvo un comportamiento más estable.

- **(Temp2) - Área bajo la curva: 2200119.99**

Temp2 muestra el valor más alto de área bajo la curva, lo que indica que la temperatura en esta zona fue la más elevada entre todos los sensores durante el intervalo analizado. Esto refleja una mayor exposición al calor o una menor ventilación en la ubicación de este sensor.

- **(Temp3) - Área bajo la curva: 2070485.11**

Temp3 tiene un valor intermedio. Esto sugiere que la zona donde está ubicado el sensor registró temperaturas moderadas, más elevadas que Temp1, pero menores que Temp2. El área muestra un comportamiento de temperatura más equilibrado.

- **(Temp4) - Área bajo la curva: 2070485.11**

Temp4 comparte el mismo valor que Temp3, lo que implica condiciones de temperatura casi idénticas a lo largo del día en ambas ubicaciones. Esto podría significar que los sensores están ubicados en áreas con una distribución térmica similar o que están midiendo puntos cercanos en el cuarto de máquinas.

- **Temperatura Ambiente - Área bajo la curva: 2020504.33**

El valor del área para la Temperatura Ambiente es ligeramente menor que el de Temp2, lo que indica que la temperatura ambiental fue más moderada en comparación con los valores más altos observados en Temp2, pero estuvo cercana al promedio general de las temperaturas registradas por los otros sensores.

8.6.2 Resultados de análisis Humedad

Teniendo en cuenta que la ubicación de los sensores es:

Sensor 1 (Temp1 y Hum1) - Zona Fría cuarto de máquinas.

Sensor 2 (Temp2 y Hum2) - Motobomba Presión piscina.

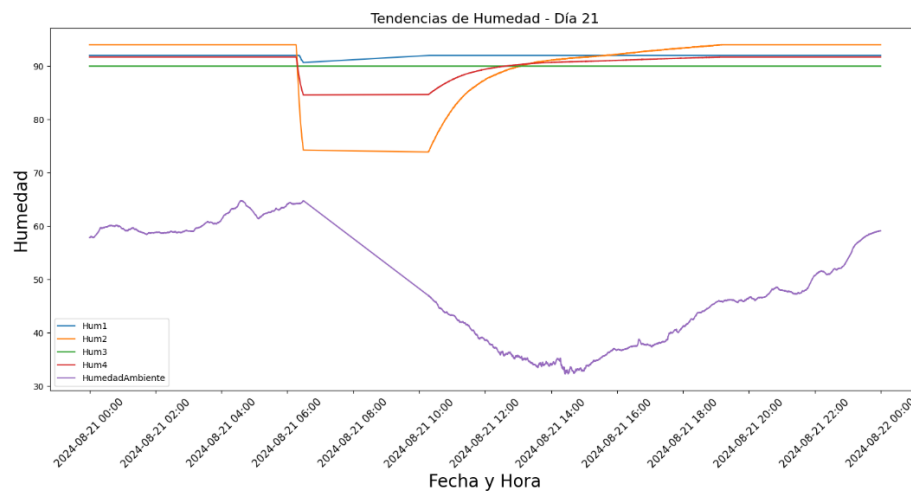
Sensor 3 (Temp3 y Hum3) - Motobomba Presión Casa.

Sensor 4 (Temp4 y Hum4) - Punto intermedio cuarto de máquinas.

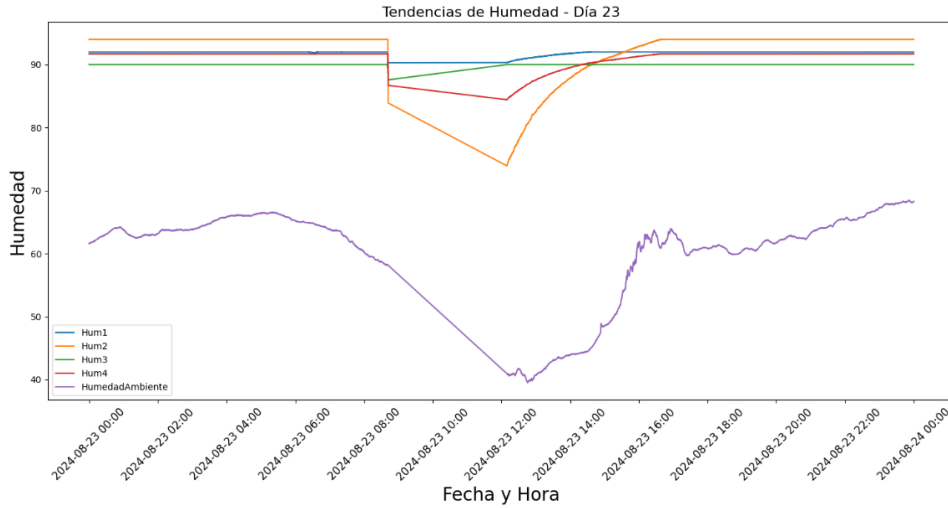
Se implementarán los siguientes modelos de análisis de datos.

8.6.2.1 Tendencias de Humedad Dia a Dia

La Grafica 9 y Grafica 10, muestran las tendencias de humedad en días específicos. En ambos días, la humedad ambiente desciende significativamente durante la mañana y la tarde, alcanzando un mínimo antes de subir al anochecer. Esta tendencia se repite a lo largo de los días de prueba, destacando que tanto la humedad en el ambiente externo como en el interior del cuarto de máquinas aumenta durante la noche y presenta una caída notable al mediodía, cuando se registra el mayor pico de temperatura.



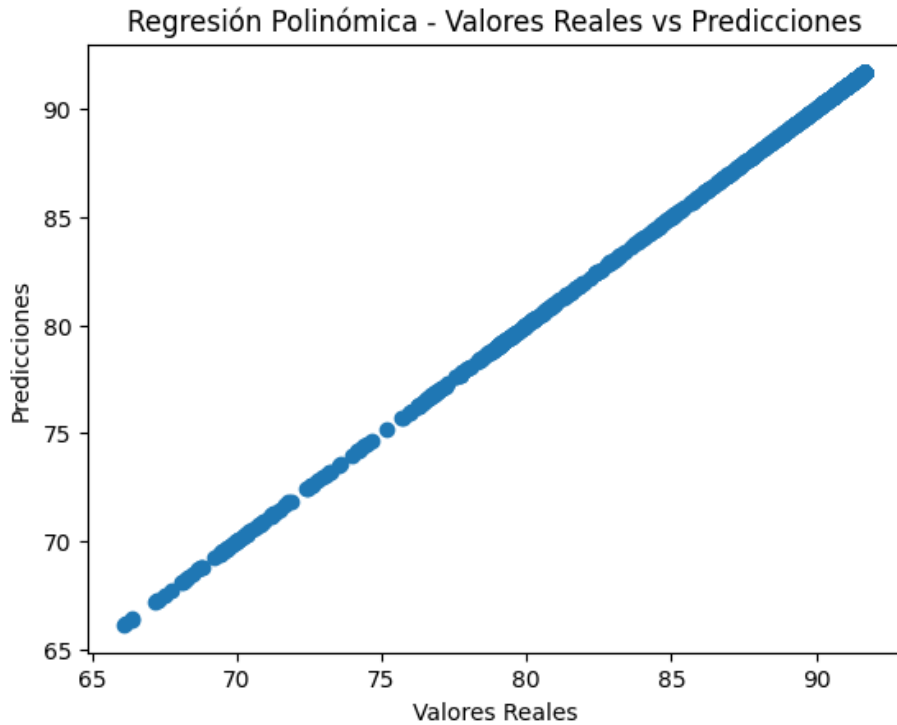
Grafica 9 - Tendencia temperatura mes agosto día 21 sensores de humedad. [Autoría Propia]



Grafica 10 -Tendencia temperatura mes agosto día 23 sensores de humedad. [Autoría Propia]

8.6.2.2 Análisis de Regresión Polinómica para Humedad

La Grafica 11, muestra una dispersión de los valores reales vs. las predicciones. Los puntos forman una línea diagonal casi perfecta desde la esquina inferior izquierda hasta la esquina superior derecha, lo que indica una fuerte correlación entre los valores reales y las predicciones.



Grafica 11 - Regresión Polinómica sensores humedad

Evaluación de los resultados:

- **MSE (Mean Squared Error):** 1.14882006163826e-06

Este valor es extremadamente bajo, lo que sugiere que el modelo tiene un buen ajuste y que los errores entre las predicciones y los valores reales son mínimos.

- **R² (Coeficiente de Determinación):** 0.999999858085807

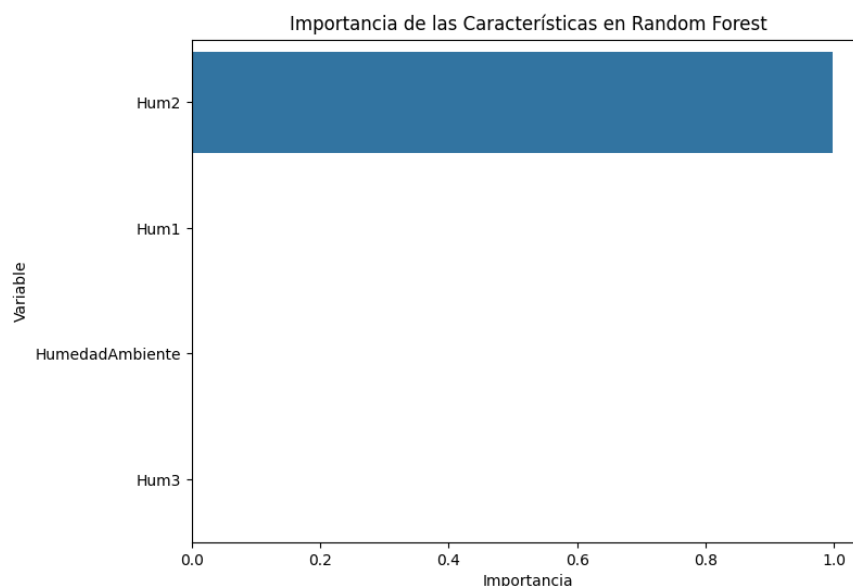
Un valor de R² tan cercano a 1 indica que casi toda la variabilidad en los datos de la humedad promedio (Hum4) puede ser explicada por las humedades independientes (Hum1, Hum2, Hum3, HumedadAmbiente).

Estos resultados sugieren que el modelo de regresión polinómica tiene un desempeño excelente para predecir los valores de Hum4 basándose en las otras medidas de humedad.

8.6.2.3 Análisis de Random Forest para Humedad

Identificar los sensores que contribuyen más a las variaciones de las mediciones de humedad y temperatura visualizado en Grafica 12, en permite centrar el monitoreo en las áreas donde las condiciones ambientales tienen un mayor impacto en el funcionamiento del cuarto de máquinas. Esto es esencial para garantizar que se mantengan las condiciones óptimas, enfocando los recursos en los puntos críticos y permitiendo una detección más precisa de cambios que puedan comprometer la operación de los equipos.

Conocer qué sensores reflejan mejor los cambios en las condiciones permite configurar alertas tempranas y umbrales específicos para prevenir averías. Esta capacidad de detección temprana posibilita intervenciones preventivas antes de que los problemas escalen, reduciendo el riesgo de fallos, tiempo de inactividad y los costos de reparación.



Grafica 12 - Importancia características sensores humedad. [Autoría Propia]

- **Importancia de las características:**

El Grafica 12, muestra que 'Hum2' tiene una importancia alta, en el modelo de predicción. Esto sugiere que la variable 'Hum2' es el principal predictor de 'Hum4' en tu conjunto de datos. Las otras características ('Hum1', 'Hum3', y 'HumedadAmbiente') tienen una contribución moderada al modelo.

- **Resultados de rendimiento del modelo:**

MSE (Error Cuadrático Medio): $9.373220735070614e-06$, un valor extremadamente bajo, indica que el modelo tiene un rendimiento muy alto, con errores mínimos en las predicciones.

R²: 0.9999787452917669, muy cercano a 1, muestra que el modelo explica casi toda la variabilidad en los datos. Es un indicativo de un ajuste excelente.

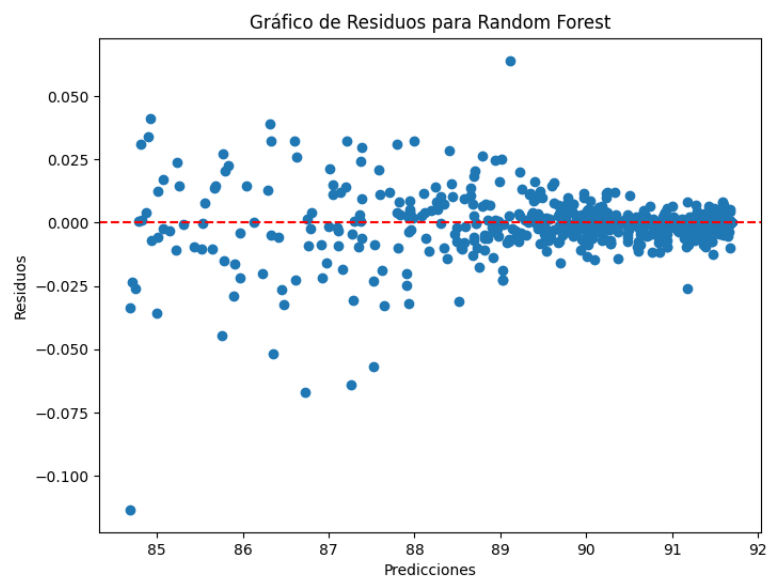
Análisis del Gráfico de Residuos

- **Distribución de residuos**

La mayoría de los residuos se distribuyen cerca de la línea roja (que representa el residuo cero) evidenciado en Grafica 13, lo cual es un buen signo y sugiere que el modelo no muestra un sesgo sistemático en las predicciones.

- **Patrón en los residuos**

Aunque en su mayor parte los puntos están distribuidos de manera aleatoria, se puede observar que para las predicciones más bajas (alrededor de 85) hay una mayor dispersión de residuos. Esto podría indicar que el modelo tiene un poco más de dificultad para ajustar los valores en este rango.



Grafica 13 - Residuos. [Autoría Propia]

Validación Cruzada y Mejores Parámetros del Modelo Random Forest

- **MSE promedio de validación cruzada**

0.0022902970280299167, que sigue siendo muy bajo y confirma la estabilidad del modelo en distintos pliegues.

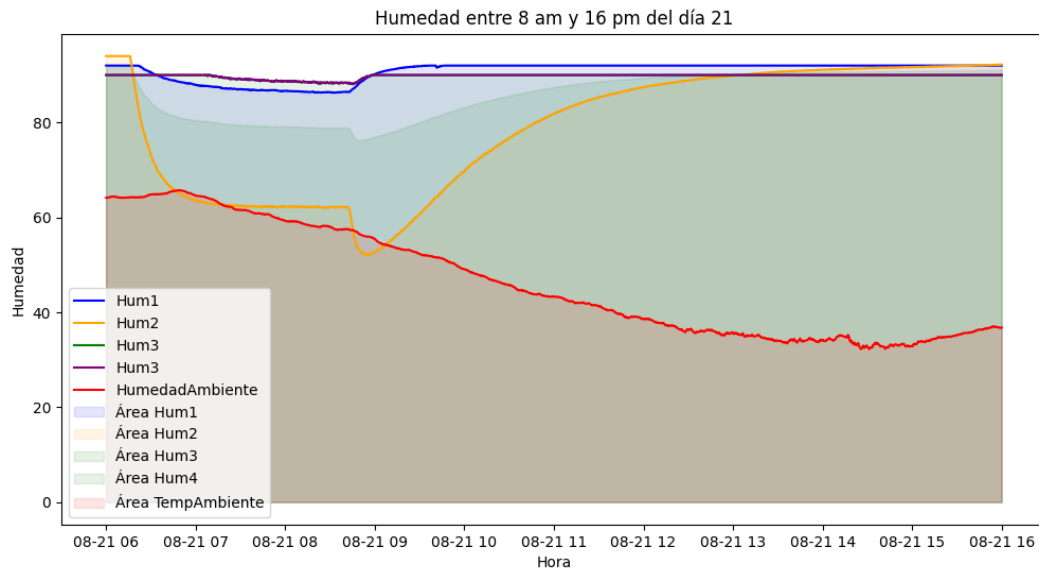
- **Mejores parámetros**

El ajuste de hiperparámetros arrojó una configuración óptima para *max_depth*, *min_samples_split*, *n_estimators*, lo cual sugiere un modelo con una profundidad razonable para captar complejidades sin llegar a sobreajustar.

8.6.2.4 Área entre graficas sensores de humedad

Día 21 - mes 8

En el contexto del cuarto de máquinas, el área bajo la curva de Humedad se interpreta como una indicación de la acumulación de humedad a lo largo del tiempo visualizado en Grafica 14 y Grafica 15.



Grafica 14 - Área entre graficas mes agosto día 21 sensores de humedad [Autoría Propia]

- **(Hum1) - Área bajo la curva: 3266882.47**

El sensor de Hum1 muestra el área más grande, lo que indica que tuvo los valores más altos de humedad en el período analizado. Esto sugiere que en esa ubicación específica, las condiciones de humedad fueron significativamente más elevadas a lo largo del día.

- **(Hum2) - Área bajo la curva: 2824517.28**

Hum2 también registra un valor elevado de área, pero inferior a Hum1. Esto podría implicar una disminución gradual de la humedad en esa zona, o que la humedad se mantuvo alta pero algo

más estable que en Hum1.

- **(Hum3) - Área bajo la curva: 3230062.08**

Hum3 está bastante cerca de Hum1 en cuanto a área bajo la curva, lo que sugiere que también tuvo altos niveles de humedad a lo largo del día. La diferencia entre Hum1 y Hum3 es pequeña, lo que indica condiciones similares de humedad en ambas áreas.

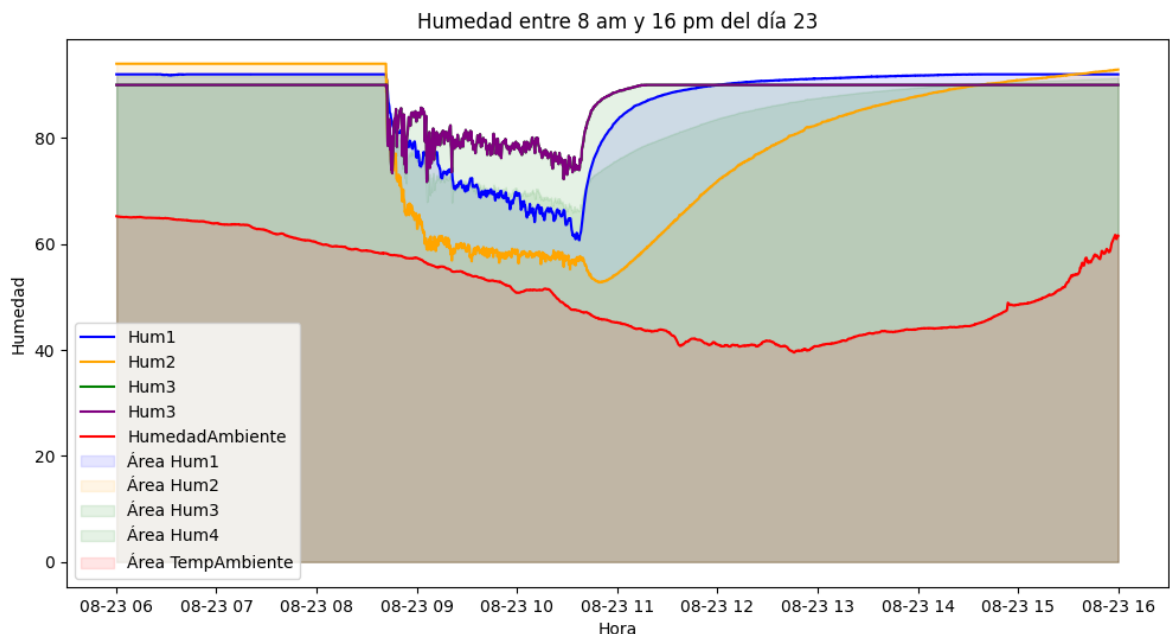
- **(Hum4) - Área bajo la curva: 3093644.84**

Hum4 tiene una humedad algo menor que Hum1 y Hum3, pero aún significativamente alta en comparación con Hum2. Esto sugiere que la humedad en esa ubicación fue elevada, pero no alcanzó los máximos observados en Hum1 y Hum3.

- **Humedad Ambiente - Área bajo la curva: 1666426.9**

El valor de área más bajo corresponde al sensor de Humedad Ambiente, lo que refleja que las condiciones externas o ambientales tuvieron una humedad bastante más baja en comparación con los sensores internos. Esto es esperable, ya que las condiciones de humedad en interiores pueden variar significativamente frente a las externas.

Día 23 – mes 8



Grafica 15 - Área entre graficas mes agosto día 23 sensores de humedad [Autoría Propia]

- **(Hum1) - Área bajo la curva: 3122217.11**

El valor de Hum1 sigue siendo uno de los más altos, lo que indica una alta humedad en esa ubicación durante el intervalo de tiempo analizado. Aunque no es el valor más alto, sigue siendo

considerable, lo que sugiere una humedad estable y persistente en esa área.

- **(Hum2) - Área bajo la curva: 2871984.23**

Hum2 tiene el área más baja entre los sensores internos. Esto podría indicar que la humedad en esa zona fue moderada o que hubo fluctuaciones más pronunciadas en los niveles de humedad, con descensos significativos a lo largo del tiempo.

- **(Hum3) - Área bajo la curva: 3154343.99**

Hum3 muestra el valor de área más alto, lo que indica que esta zona fue la que registró la mayor cantidad de humedad en general durante el período medido. Esta ubicación experimentó los niveles de humedad más elevados de todos los sensores.

- **(Hum4) - Área bajo la curva: 3050701.19**

Hum4 también presenta un valor elevado, muy cercano al de Hum1. Esto indica que esta zona también tuvo un nivel de humedad alto, similar a Hum1, lo que podría sugerir condiciones similares o alguna correlación entre ambas áreas.

- **Humedad Ambiente - Área bajo la curva: 1847794.65**

Como en los casos anteriores, el Humedad Ambiente tiene el valor más bajo. Esto refleja que las condiciones exteriores presentaron una humedad significativamente menor en comparación con las condiciones internas del cuarto o espacio donde están los sensores. Esto es coherente con la diferencia entre ambientes controlados y el exterior.

Capítulo 9

Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros

- En el análisis de temperatura, los resultados obtenidos tanto del modelo de regresión polinómica como del modelo de Random Forest indican un ajuste y predictibilidad de las temperaturas internas del cuarto de máquinas. Los valores bajos de MSE y los valores de R^2 cercanos a uno reflejan que los modelos son altamente precisos en la predicción de Temp4 basándose en las lecturas de (Temp1, Temp2, Temp3 y TempAmbiente). En particular, las variables Temp2 y Temp3 muestran la mayor importancia en la predicción, lo que sugiere que las zonas correspondientes a la Motobomba Presión Piscina y la Motobomba Presión Casa son críticas para el monitoreo de la temperatura interna del cuarto de máquinas. Estos hallazgos son respaldados por la distribución de los residuos, que en su mayoría se concentran en torno a 0 demostrando que el modelo presenta un buen ajuste.
- El análisis del área bajo la curva para los días específicos muestra que (Temp2) presenta consistentemente las áreas más altas, indicando una mayor carga térmica en la zona de la Motobomba Presión Piscina. Esto sugiere que esta área es más propensa al sobrecalentamiento y requiere un monitoreo y control más estricto de la temperatura para evitar riesgos de fallos en los equipos y garantizar una operación segura.
- Por otro lado, el análisis de humedad revela que el modelo de regresión polinómica también tiene un ajuste con un MSE bajo y un R^2 cercano a cero siendo preciso, estos resultados indican que las humedades internas del cuarto de máquinas pueden ser predichas con alta precisión usando las lecturas de (Hum1, Hum2, Hum3 y HumedadAmbiente). La variable (Hum2) destaca por su importancia abrumadora en la predicción de (Hum4), lo que sugiere que la zona de la Motobomba Presión Piscina es el principal contribuyente a la humedad interna. Esto refuerza la necesidad de un monitoreo más enfocado en esta área para mantener condiciones óptimas y evitar problemas de condensación y corrosión que puedan afectar el funcionamiento de los equipos.
- Además, el análisis del área bajo la curva para la humedad muestra que (Hum1) y (Hum3) presentan las áreas más altas en ambos días analizados, indicando altos niveles de humedad en la Zona Fría del cuarto de máquinas y en la Motobomba Presión Casa. Estos hallazgos sugieren que estas áreas son más propensas a tener alta humedad y requieren un monitoreo y control constante para evitar problemas que puedan comprometer la integridad de los equipos y la seguridad operativa del sistema.
- La zona de la Motobomba Presión Piscina (Temp2) ha demostrado ser un punto crítico con alta carga térmica. Para mantener una temperatura estable y evitar sobrecalentamientos, es fundamental implementar sistemas de refrigeración adicionales. Esto puede incluir la instalación de ventiladores de alta capacidad que aseguren un flujo constante de aire frío que permitan una dispersión de calor. Además, se puede considerar el uso de aires acondicionados portátiles. Estas medidas ayudarán a prevenir el sobrecalentamiento, protegiendo así los equipos y garantizando una operación segura y eficiente.

- Para tener una medición más precisa y oportuna de la temperatura en las áreas críticas, como la Motobomba Presión Piscina, es recomendable instalar sensores de temperatura adicionales. Estos sensores pueden colocarse en puntos estratégicos para proporcionar una visión más granular de las condiciones térmicas. La implementación de una red de sensores permitirá detectar rápidamente cualquier cambio significativo en la temperatura, lo cual es crucial para tomar decisiones informadas y actuar de manera preventiva.
- Las zonas de la Zona Fría del cuarto de máquinas (Hum1) y la Motobomba Presión Casa (Hum3) han mostrado tener altos niveles de humedad. Para mantener la humedad en niveles óptimos y reducir el riesgo de corrosión y otros daños, es crucial implementar deshumidificadores en estas áreas. Los deshumidificadores ayudarán a controlar y reducir la humedad, creando un ambiente más seguro para los equipos. Es importante elegir deshumidificadores de alta capacidad que puedan manejar las condiciones específicas del cuarto de máquinas y garantizar su mantenimiento regular para asegurar su buen funcionamiento.
- Como parte de una estrategia general, es crucial desarrollar e implementar un plan de mantenimiento preventivo enfocado en los puntos críticos anteriormente identificados. Las [Gráficas 9, 10, 11 y 12], indican que la humedad disminuye considerablemente cuando el cuarto de máquinas está abierto, especialmente durante las horas del mediodía, con una reducción de la humedad relativa a un rango de 40-50%. Sin embargo, durante la noche, la humedad tiende a aumentar hasta un 90% debido a la condensación de vapores en superficies frías. Para mitigar este riesgo, es necesario programar limpiezas regulares de cables e instalaciones eléctricas durante la noche, eliminando la acumulación de condensación y previniendo daños eléctricos.
- Tal y como se evidencia en las [Gráficas 2,7 y 8], los períodos de mayor sobrecalentamiento se presentan en las horas del mediodía, cuando el cuarto de máquinas en funcionamiento constante alcanza temperaturas generales de 35 a 37 grados Celsius. Durante estos períodos, es fundamental evitar la operación del cuarto de máquinas bajo cualquier circunstancia, ya que esto podría causar el sobrecalentamiento de las motobombas por un período prolongado. Este sobrecalentamiento no solo resultaría en un mayor consumo eléctrico debido a la sobre exigencia de las motobombas, sino que también podría desgastarlas prematuramente, ya que están diseñadas para funcionar a temperaturas no superiores a 40 grados como lo indica su fabricante. En cambio, teniendo en cuenta las gráficas, se recomienda programar el funcionamiento de las motobombas durante la noche, específicamente entre las 7pm y las 9pm, o durante las horas de la madrugada, de 3am a 5am. En estos horarios, las temperaturas promedio oscilan entre 28 y 33 grados Celsius, lo cual permite que las motobombas operen por períodos más largos sin riesgo de sobrecalentamiento. De esta manera, el cuarto de máquinas no se verá afectado en gran medida por el efecto térmico de las motobombas, siendo el principal factor de calor en este ambiente.

- Como trabajo futuro, se propone implementar un sistema de recirculación de aire en el cuarto de máquinas para mejorar el flujo de aire y mitigar el sobrecalentamiento, que actualmente representa uno de los principales desafíos para garantizar la operación segura y eficiente de los equipos. Este sistema consistiría en la instalación de ventiladores estratégicos que trabajen de forma complementaria: uno para expulsar el aire caliente acumulado y otro para introducir aire frío o de menor temperatura desde el exterior.

Además, para lograr un equilibrio adecuado de humedad en el cuarto de máquinas, es fundamental mejorar la ventilación en áreas críticas como la Zona Fría y la Motobomba Presión Casa. Se recomienda rediseñar la puerta de acceso al cuarto de máquinas, ya que la puerta actual, al estar casi sellada, impide la circulación adecuada de aire y la salida de humedad hacia el exterior. Según lo observado en las gráficas, la humedad alcanza niveles peligrosos cuando el cuarto de máquinas permanece cerrado durante varios días, lo que puede causar cortocircuitos y una degradación acelerada de los componentes eléctricos. Al implementar estas mejoras en la ventilación y recirculación, se espera reducir tanto el calor como la humedad interna, mitigando los riesgos para los equipos y garantizando una operación más segura y eficiente del sistema.

Bibliografía

- [1] M. E. A. B. S. R. T. & T. Z. Hassan M. Hussein Farh, «Analysis and ranking of corrosion causes for water pipelines: a critical review,» *npj Clean Water*, vol. 6, nº 63, 2023.
- [2] M. M. Mansour, H. S. Salman, A. M. Lafta, S. R. Nashee y A. J. Shkarah, «Simulation Analysis of Protection Oil Pipe in Platform to Reduced Corrosion and Erosion Defect with Sustainability Technique.,» *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, vol. 11, nº 5, p. 1171, 2024.
- [3] N. UNIDAS, «Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos,» ODS, [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>. [Último acceso: 4 3 2024].
- [4] O. M. d. I. salud, Guías para la calidad del agua de consumo humano, Ginebra: Licencia: CC, 2018.
- [5] ONU-Agua, Summary Progress Update 2021: SDG 6 — water and sanitation for all, UN-Water, 2021.
- [6] N. F. Leonid Nefedov, «The model of the regional environmental monitoring system organization,» de *13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Athens, Greece, 2023.
- [7] L. Zhou, «Environmental Sensor Network Construction and Real-Time Monitoring System for Rural Environmental Pollution Control,» de *2022 3rd International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)*, Trichy, India, 2022.
- [8] R. Jegan, A. B. Evangeline y W. Nimi, «Wearable Environmental Monitoring System for Measurement of Environmental Parameters: A Pilot study,» de *2022 International Conference on Augmented Intelligence and Sustainable Systems (ICAISS)*, Trichy, India, 2022.
- [9] N. A. A. Ali y N. A. A. Latiff, «Environmental Monitoring System Based on LoRa Technology in Island,» de *2019 IEEE International Conference on Signals and Systems (ICSigSys)*, Bandung, Indonesia, 2019.
- [10] Y. Jieyu y X. Ruoan, «Design of Environmental Monitoring System Based on Wifi,» de *2022 19th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)*, Chengdu, China, 2022.
- [11] S. Zhili y Z. Guimin, «Environmental monitoring data storage system based on consortium blockchains,» de *2019 International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS)*, Shanghai, China, 2019.
- [12] S. K. P. ., K. K. J. ., K. S. S. ., N. Z. J. ., M. M. a. S. A. Sourav Kumar Bhoi1, «IoT-EMS: An Internet of Things Based Environment Monitoring System in,» *Intelligent Automation & Soft Computing*, pp. 15-16, 2021.
- [13] O. a. R. S. 2. Silvia Liberata Ullo 1, «Advances in Smart Environment Monitoring Systems,» *Internet of Things*, vol. 11, nº 20, 2020.
- [14] M. D. I. a. ., G. (. B. a. ., Y. S. a. ., Y. G. a. Nipuna Chamara a, «Ag-IoT for crop and environment monitoring: Past, present, and future,» *Agricultural Systems*, vol. 203, 2022.
- [15] Y. A. b. ., D. T. D. a. Nwamaka U. Okafor a, «Improving Data Quality of Low-cost IoT Sensors in Environmental Monitoring Networks Using Data Fusion and Machine Learning Approach,» *ICT Express*, vol. 6, nº 3, pp. 220-228, 2020.
- [16] R. Bhardwaj, S. Kumari, S. N. Gupta y U. Prajapati, «IoT Based Smart Indoor Environment Monitoring and Controlling System,» *7th International Conference on Signal Processing and*

Communication (ICSC), 2021.

- [17] R. D. H. 2. ,. R. P. 3. ,. a. R. M. 4. Jonathan Fiallos 1, «Sistemas de Adquisición de Datos Aplicados en la industria,» *REVISTA DE LA ESCUELA DE FÍSICA*, vol. v, nº 2, pp. 47-52, 2017.
- [18] B. N. P. P. V. M. Jorge González Coneo, «Sistema de monitoreo en tiempo real para la medición de temperatura,» *Scientia Et Technica*, vol. vol. XVII, nº núm. 50, pp. 128-130, 2019.
- [19] M. Y. d. A. V. M. M. A. R. I. L. A. T. Dr. Laureano López Moreda, «Procedure for environmental monitoring plan for the hotel companies,» *Revista Avanzada Científica* , vol. Vol. 15, nº No. 1, pp. 2-8, 2012.
- [20] M. S. R. K. P. K. D. B. Vina Gubta, «A Low-Cost Real-Time IOT Enabled Data Acquisition System for Monitoring of PV System,» *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, nº 20, p. 2529–2543, 2020.
- [21] B. Schultze, P. Karbasi, C. Sarosiek, G. Coutrakon, C. E. Ordoñez y N. T. Karonis, «Particle-Tracking Proton Computed Tomography—Data Acquisition, Preprocessing, and Preconditioning,» *IEEE Access*, vol. 9, pp. 25946 - 25958, 2021.
- [22] P. M. S. M. M. M. S. A. A. B. Pranjali, «A Smart Data-Driven Prototype for Depression and Stress Tracking in Patients. In: Hassanien,» (eds) *International Conference on Innovative Computing and Communications.*, vol. 537, pp. 978-981-99-3010-4_36, 2023.
- [23] W.-R. C.-J. L.-Q. J. W.-X. L. Z.-P. L.-D. Qiu, «Covalent Organic Frameworks as Advanced Uranyl Electrochemiluminescence Monitoring Platforms,» *Analytical Chemistry*, vol. 93, nº 48, 2021.
- [24] S. Z. Z. B. G. B. G. L. M. L. M. J. R. S. S. T. W. W. M. W. X. Y.-J. Z. Zhang*, «Machine Learning: New Ideas and Tools in Environmental Science and Engineering,» *Environmental Science & Technology*, vol. 55, nº 19, 2021.
- [25] P. S. R. a. 1, «Using machine learning approaches for multi-omics data analysis: A review,» *Biotechnology Advances*, vol. 49, 2021.
- [26] X. L. L. Z. L. Jiang, «Data-Driven Machine Learning in Environmental Pollution: Gains and Problems,» *Environmental Science & Technology*, vol. 56, 2022.
- [27] L. Tabelini, R. Berriel, T. M. Paixão, C. Badue, A. F. D. Souza y T. Oliveira-Santos, «PolyLaneNet: Lane Estimation via Deep Polynomial Regression,» de *25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Milan, Italy, 2020.
- [28] P. M. P. M. Schober y T. R. M. M. Vetter, «Logistic Regression in Medical Research,» *Anesthesia & Analgesia*, vol. 132, nº 2, pp. 365-366, 2021.
- [29] «An integrated wearable microneedle array for the continuous monitoring of multiple biomarkers in interstitial fluid,» *Farshad Tehrani, Hazhir Teymourian, Brian Wuerstle, Jonathan Kavner, Ravi Patel, Allison Furnidge, Reza Aghavali, Hamed Hosseini-Toudeshki, Christopher Brown, Fangyu Zhang, Kuldeep Mahato, Zhengxing Li, Abbas Barfidokht, Lu Yin, Paul Warren, Nickey Huang*, vol. 6, p. 1214–1224, 2022.
- [30] J. P. Nunes, «Challenges in predictive maintenance – A review,» *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 40, pp. 53-67, 2023.
- [31] K. A. Serkan Ayvaz, «Predictive maintenance system for production lines in manufacturing: A machine learning approach using IoT data in real-time,» *Expert Systems with Applications*, vol. 173, 2021.
- [32] J. L. G. J. R. Tammy Jiang, «Supervised Machine Learning: A Brief Primer,» *Behavior Therapy*, vol. 51, nº 5, pp. 675-687, 2020.
- [33] S. S. X. D. L. Z. M. E. R. & Q. G. Shanika L. Amarasinghe, «Opportunities and challenges in long-read sequencing data analysis,» *Genome Biology*, vol. 21, nº 30, 2020.
- [34] S. G. ,. M. T. A. H. A. A. A. I. Y. Y. A. S. S. ,. A. B. I. B. B. Z. A. R. b. I. O. S. A. A. S. A. Che

- Zalina Zulkifli, «IoT-Based Water Monitoring Systems: A Systematic Review,» *Water* 2022, 14, 3621..
- [35] A. & D. A. Sinha, Review of sensor technologies for monitoring environmental conditions, *Journal of Environmental Management*, 2020.
- [36] R. & K. Kumar, Smart monitoring system for agriculture using IoT, *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [37] Y. & R. Wang, «An overview of IoT platforms for smart home applications,» *IEEE Internet of Things Journal*, vol. Vol.5, pp. 1363-1372, 2018.
- [38] Y. L. , J. y. Z. H. Luo, «Sistemas de alarma auditiva y visual en la monitorización industrial: mejora de la eficiencia y la seguridad,» *Journal of Industrial Engineering*, pp. 134-150, 2020.
- [39] A. P. , C. y. R. D. Martínez, «Sistemas de alarma basados en IoT para monitorización industrial,» *Automation & Control Systems*, pp. 112-127, 2021.
- [40] R. M. S. & V. T. Patel, «Blynk Platform for IoT Application Development: A Review,» *International Journal of IoT Engineering*, 2022.
- [41] H. & S. M. Gajjar, «Securing IoT Applications with Blynk: An Overview,» *Journal of IoT Security*, 2021.
- [42] R. & M. A. Singh, «Application of Blynk in Industrial IoT Systems for Real-time Monitoring and Control,» *Industrial IoT Journal*, 2023.
- [43] K. a. M. A. Bagirzade, «Refinery Emergency Shutdown System Based on High Safety Analysis. Journal of Engineering Research and Reports,» *Eprints is powered by EPrints 3.4* , vol. VI, nº 22, pp. 37-41, 2022.
- [44] S. V. Smolovik, L. A. Koshcheev, A. A. Lisitsyn y A. I. Denisenko, «Special Automation for Isolated Power Systems Emergency Control,» de *IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)*, St. Petersburg, Moscow, Russia, 2021.
- [45] S. Kurlandaivel, S. Jain, J. Guajardo y V. Sekar, «CANNON: Reliable and Stealthy Remote Shutdown Attacks via Unaltered Automotive Microcontrollers,» de *IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*, San Francisco, CA, USA, 2021.
- [46] F. Sun, «Design and Development of an IoT-Based Ecological Environment Monitoring Network,» de *2023 International Conference on Power, Electrical Engineering, Electronics and Control (PEEEEC)*, Athens, Greece, 2023.
- [47] J. C. P. W. S. G. & A. Cohen, Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences, Routledge., 2013.
- [48] N. R. & S. Draper, Applied regression analysis. John Wiley & Sons., 2014.
- [49] Y. & W. D. Zhou, The use of log transformation in the analysis of health-related data: Implications and recommendations, *Environmental Health Perspectives*, 2017.
- [50] R. K. Mobley, An introduction to predictive maintenance, Butterworth-Heinemann, 2017.
- [51] J. A. F. A. & G. López, «Predictive maintenance in industrial equipment: Benefits and methodologies,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, nº 22, pp. 41-52, 2016.
- [52] A. K. L. D. & B. Jardine, «A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance,» *Mechanical Systems and Signal Processing*, nº 22, pp. 1483-1510, 2016.
- [53] H. & B. Ahmed, «Continuous Monitoring Systems and Predictive Maintenance in Industrial Environments,» *Journal of Manufacturing Systems*, nº 38, pp. 202-216, 2021.
- [54] P. W. L. & W. Li, «Predictive Maintenance Based on Data Analytics in Smart Manufacturing,» *Computers in Industry*, nº 134, 2023.
- [55] S. & S. Ju, «Real-Time IoT-Based Alert Systems for Industrial Applications.,» *IEEE Access*,

2022.

- [56] D. & P. Kim, «IoT-Based Monitoring and Alert Systems for Industrial Equipment Management,» *Journal of Industrial Information Integration*, nº 25.
- [57] X. & Y. J. Huang, «Integrating IoT and Machine Learning for Predictive Maintenance and Alert Systems,» *Automation in Construction*, nº 148, 2023.
- [58] X. Y. J. y. W. Zhu, «Industrial para fabricación inteligente: desafíos y oportunidades,» *Journal of Industrial Information Integration*, nº 23, 2021.
- [59] Z. L. H. y. S. Y. Yang, «Fábricas inteligentes habilitadas para IoT: aprovechamiento del análisis de datos para la optimización de procesos,» *Automatización en la fabricación*, vol. 29, pp. 45-59, 2022.
- [60] Sumeplast, «PMMA: Propiedades y aplicaciones.,» Polígono La Roca, Martorelles - Barcelona, 2021.

Anexos

1. Anexo A

1.1. Repositorio web Github

- <https://github.com/MIGUELRUEDA26/Repositorio-Tesis-Universidad-Santo-Tomas>

2. Anexo B

2.1.

Diagrama – Algoritmo Regresión polinómica

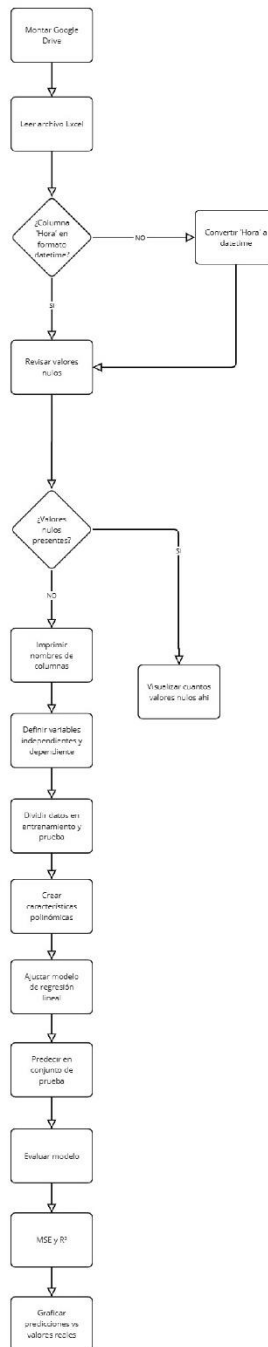


Diagrama 3 - Algoritmo regresión polinómica

2.2. Diagrama – Algoritmo Random forest y Correlación de Kendall

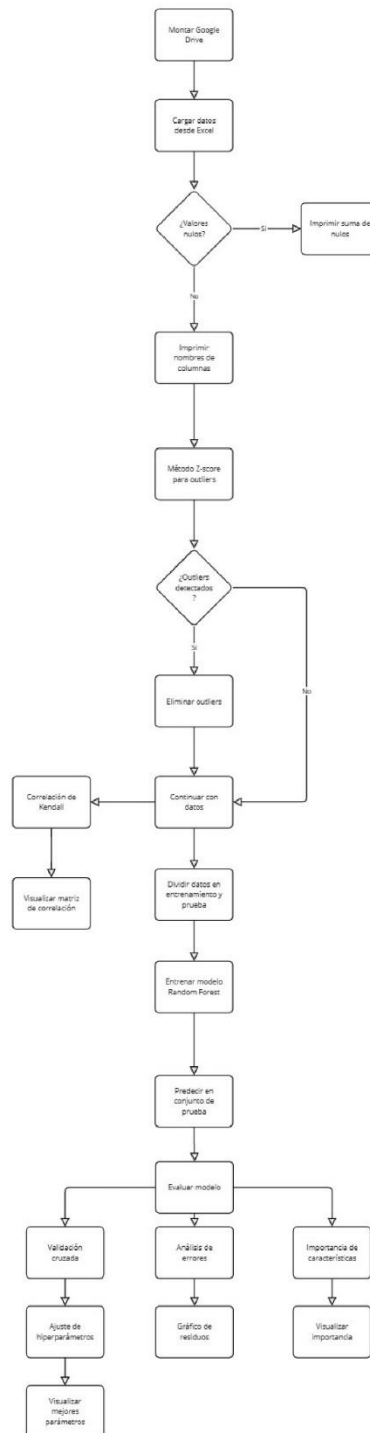


Diagrama 4 - Algoritmo Random forest y Correlación de Kendall

2.3. Diagrama – Algoritmo Área bajo la curva

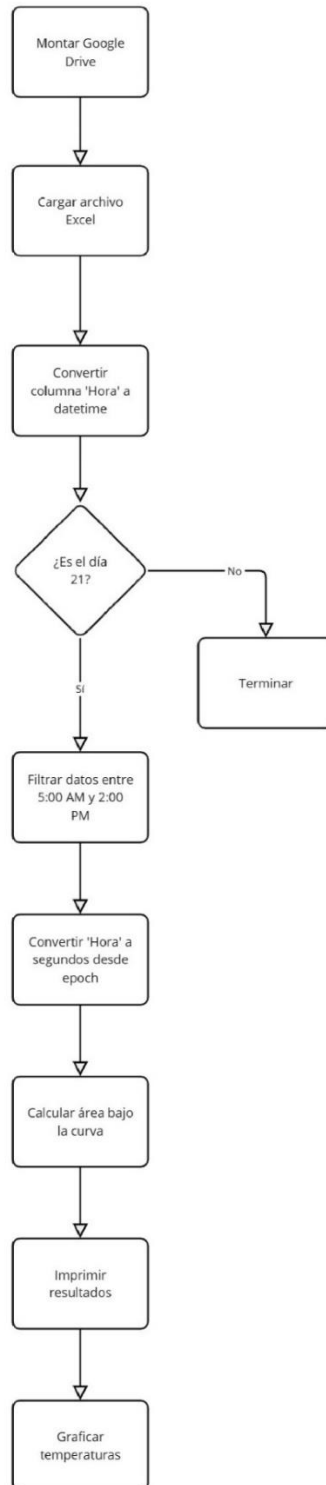


Diagrama 5 - Algoritmo Área bajo la curva