



**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN
TELECOMUNICACIONES**

TESIS

**Para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico con
Mención en Telecomunicaciones**

Diseño de un Sistema de Monitoreo Inalámbrico para
mejorar el mantenimiento en el proceso de centrifugado de la
línea de lavado-secado en la empresa Argu's Service S.R.L.

PRESENTADO POR

Chavez Casiano, Edwin Modesto

ASESOR

Aguirre León, Miguel Angel
0000-0003-2617-2671

Lima, Perú, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD ANTIPLAGIO TURNITIN

Mediante la presente, Yo:

1. EDWIN MODESTO CHAVEZ CASIANO; identificada con DNI 09974932
-

Soy egresado de la Escuela Profesional de INGENIERÍA ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN TELECOMUNICACIONES del año 2013-II y habiendo realizado la¹ tesis para optar el Título Profesional de² INGENIERO ELECTRÓNICO CON MENCIÓN EN TELECOMUNICACIONES, se deja constancia que el trabajo de investigación fue sometido a la evaluación del Sistema Antiplagio Turnitin el 02 de agosto del 2025, el cual ha generado el siguiente porcentaje de similitud de³: 17%. (diecisiete por cient).

En señal de conformidad con lo declarado, firmo el presente documento el 20 de setiembre del año 2025.



Egresado 1

Egresado 2

Egresado 3



Nombre del Asesor(a)
DNI 48999226

¹ Especificar qué tipo de trabajo es: tesis (para optar el título), artículo (para optar el bachiller), etc.

² Indicar el título o grado académico: Licenciado o Bachiller en (Enfermería, Psicología ...), Abogado, Ingeniero Ambiental, Químico Farmacéutico, Ingeniero Industrial, Contador Público ...

³ Se emite la presente declaración en virtud de lo dispuesto en el artículo 8°, numeral 8.2, tercer párrafo, del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI, aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD, modificado por Resolución de Consejo Directivo N° 174-2019-SUNEDU/CD y Resolución de Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD.

17% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 14%  Fuentes de Internet
 - 3%  Publicaciones
 - 13%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)
-

DEDICATORIA

A Dios en primer lugar por guiarme y darme la fortaleza para continuar con toda humildad en mi desarrollo personal y profesional.

De igual forma, dedico este trabajo a mi madre quien me apoyo desde el principio del inicio de mis estudios brindándome su amor y cariño.

A mi novia por estar motivándome y alentándome en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

El máximo agradecimiento a mis maestros de la Universidad Ciencias y Humanidades que tuve en toda mi etapa de formación profesional, quienes con mucha paciencia y vocación nos transmitieron sus conocimientos y me inculcaron valores, para que mi objetivo se cumpla. Así mismo agradecer al Mg. Miguel Ángel Aguirre León por su apoyo y contribución en todo el desarrollo de mi tesis.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico para mejorar el mantenimiento del proceso de centrifugado de la línea de lavado-secado en la empresa ARGU'S Service. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada, diseño experimental y de enfoque cuantitativo, la población estuvo determinada por todas las máquinas de la empresa, mientras que la muestra estuvo conformada por la máquina centrífuga de la línea de lavado-secado. Los resultados que se obtuvieron que el sistema de monitoreo inalámbrico mediante tres pruebas indicó un incremento controlado de la temperatura, la corriente permaneció en rangos estables entre 1.48 A y 1.51 A, el voltaje oscila ligeramente entre 218 V y 223 V, lo cual se encuentra dentro del rango aceptable para la operación de motores. Finalmente, se concluye que el diseño del sistema de monitoreo inalámbrico mejoró el mantenimiento en el proceso de centrifugado de la línea de lavado y secado.

Palabras Clave: Mantenimiento, Internet de las Cosas, Monitoreo, Centrifugado

ABSTRACT

The purpose of this research was to design a wireless monitoring system to improve maintenance of the spin-drying process on the washing and drying line at ARGU'S Service. The methodology used was applied, with an experimental design and a quantitative approach. The population consisted of all the company's machines, while the sample consisted of the centrifuge machine on the washing and drying line. The results obtained from the wireless monitoring system, through three tests, indicated a controlled temperature increase, the current remained within stable ranges between 1.48 A and 1.51 A, and the voltage oscillated slightly between 218 V and 223 V, which is within the acceptable range for motor operation. Finally, it is concluded that the design of the wireless monitoring system improved maintenance in the spin-drying process of the washing and drying line.

Key words: Maintenance, Internet of Things, Monitoring, Spin-drying

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
CONTENIDO.....	V
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABLAS.....	IX
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1.1. Planteamiento y descripción del problema	3
1.1.2. Formulación del problema general	4
1.1.3. Formulación de los problemas específicos.....	4
1.2. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.3.1. Justificación técnica.....	6
1.3.2. Justificación Económica	6
1.3.3. Justificación social	6
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.4.1. Alcances	7
1.4.2. Limitaciones.....	7

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	8
2.1. ANTECEDENTES	9
2.2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.2.1. Sistema de monitoreo.....	13
2.2.2. Mantenimiento	13
2.2.3. Mantenimiento correctivo.....	13
2.2.4. Mantenimiento Preventivo	14
2.2.5. Mantenimiento Predictivo	14
2.2.6. Automatización	14
2.2.7. Red de Sensores Inalámbricos.....	14
2.2.8. Internet de las Cosas (IoT)	15
2.2.9. Microcontroladores (μ C)	15
2.2.10. Módulo ESP32.....	15
2.2.11. Base de Datos	17
2.3. MARCO METODOLOGICO	17
2.3.1. Tipo de investigación	17
2.3.2. Metodología de la investigación.....	18
2.4. MARCO LEGAL	20
2.4.1. Constitución Política del Perú	20
2.4.2. Otros Documentos Legales	20
2.5. DIAGRAMA DE BLOQUES O ARQUITECTURA DEL SISTEMA	21
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA APLICACIÓN	23
3.1. Analizar la situación actual de mantenimiento de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado	24

3.2. Diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico con sensores de manera que se pueda verificar el estado de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado	32
3.3. Diseñar un sistema de transmisión y visualización de datos para obtener los datos de estado en la máquina de centrifugado a través de un servidor remoto con visualización en tiempo real.	36
3.4. Implementar y validar el sistema de monitoreo inalámbrico de la máquina de centrifugado mediante un prototipo.....	46
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE COSTO Y BENEFICIO.....	52
4.1. ANÁLISIS DE COSTOS.....	53
4.2. ANÁLISIS DE BENEFICIOS	56
4.3. BENEFICIO - COSTO.....	56
CONCLUSIONES.....	1
RECOMENDACIONES	2
GLOSARIO.....	3
REFERENCIAS.....	4
ANEXO.....	10

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de bloques	22
Figura 2 Diagrama de Ishikawa	24
Figura 3. Gráfico de barras.....	26
Figura 4. Línea de los equipos de lavado y molienda	29
Figura 5. Estructura General del equipo de lavado y secado	30
Figura 6. Limpieza del sistema de malla de protección	31
Figura 7. Diagrama de flujo de la nueva línea de lavado.....	32
Figura 8. Esquema de conexión	38
Figura 9. Diagrama de Flujo	39
Figura 10. Diagrama de comunicación empleando el protocolo HTTP.....	41
Figura 11. Inclusión de librerías y configuración de credenciales y cliente WiFi ..	42
Figura 12. Declaración de pines y funciones de lectura de sensores.....	43
Figura 13. Configuración inicial	44
Figura 14. Ciclo principal	45
Figura 15. Gráficos de la Prueba 1	47
Figura 16. Gráficos de la Prueba 2.....	48
Figura 17. Gráficos de la Prueba 3.....	49
Figura 18. Diseño en físico del prototipo electrónico	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de enfrentamiento de causas	25
Tabla 2 Número de fallas de julio a diciembre del año 2024	27
Tabla 3 Número de fallas de julio a diciembre del año 2024	28
Tabla 4 Matriz Morfológica del Módulo de Comunicación Inalámbrica	33
Tabla 5 Matriz Morfológica del Sensor de Temperatura	33
Tabla 6 Matriz Morfológica del Sensor de Corriente	34
Tabla 7 Matriz Morfológica del Sensor de Voltaje	35
Tabla 8 Tabla general de los datos obtenidos	50
Tabla 9. Inversión del prototipo	53
Tabla 10. Capacitaciones.....	53
Tabla 11. Gastos anuales	54
Tabla 12. Depreciación	55
Tabla 13. Flujo de caja.....	1

INTRODUCCIÓN

La eficiencia y confiabilidad de los procesos industriales, como el lavado y secado, dependen en gran medida del mantenimiento adecuado de los equipos críticos. En particular, el proceso de centrifugado en líneas de lavado-secado es fundamental para asegurar la calidad del producto final y la continuidad operativa. Sin embargo, la falta de monitoreo en tiempo real puede conducir a fallas inesperadas, tiempos de inactividad y costos elevados.

El mantenimiento predictivo ha emergido como una estrategia efectiva para anticipar fallas y optimizar la gestión de activos industriales. Por ejemplo, la implementación de sensores inalámbricos para el monitoreo continuo y remoto de condiciones clave en equipos rotativos ha demostrado ser una alternativa eficaz para optimizar la eficiencia operativa y menorar el tiempo de inactividad no planificado (Polverino et al., 2023).

Además, el uso de redes de sensores inalámbricos en plantas industriales ha mostrado resultados positivos en términos de eficiencia. La integración de estas tecnologías permite la supervisión en tiempo real de parámetros críticos como vibraciones, temperatura y velocidad, brindando datos precisos que facilitan la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo (Bezek et al., 2021).

En este contexto, el objetivo de la presente investigación es diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico adaptado al proceso de centrifugado, con el fin de mejorar el mantenimiento de la línea de lavado-secado en una empresa de servicios, incrementando así la eficiencia, la continuidad operativa y la competitividad del proceso industrial.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1. Planteamiento y descripción del problema

Las industrias de servicios de lavandería enfrentan desafíos de eficiencia operativa y mantenimiento de maquinaria, especialmente en procesos críticos como el centrifugado dentro de la línea de lavado-secado. A nivel internacional, el mercado de lavandería industrial ha mostrado un crecimiento sostenido. En ese sentido, Deloitte (2022) destaca que las organizaciones que implementan soluciones de IoT industrial pueden reducir en un 25% los costos de mantenimiento, al mismo tiempo que disminuyen hasta en un 50% el tiempo de inactividad no planificado, lo que repercute positivamente en la eficiencia del proceso productivo. No obstante, en América Latina, más del 60% de las lavanderías industriales continúan utilizando métodos tradicionales y manuales de supervisión, lo que las expone a riesgos frecuentes de fallas mecánicas, tiempos muertos extendidos y altos costos operativos (Frost & Sullivan, 2021).

Se estima que esta industria alcanzará un valor de USD 113 mil millones para el año 2025, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 6,2%. Este crecimiento ha impulsado la adopción de tecnologías inteligentes, como los sistemas de monitoreo inalámbrico basados en el Internet de las Cosas (IoT), que permiten optimizar el mantenimiento preventivo y predictivo.

En el contexto nacional, el Perú cuenta con más de 3,000 empresas dedicadas a actividades relacionadas con lavandería, tanto industrial como comercial (INEI, 2023). Este sector ha cobrado particular relevancia en rubros como el hotelero, hospitalario, minero y textil. Sin embargo, el Ministerio de Producción (2022) revela que más del 70% de las empresas medianas de este rubro no cuentan con herramientas tecnológicas para el monitoreo ni con planes efectivos de mantenimiento predictivo. Esto ha generado pérdidas promedio de hasta 10 horas de producción mensuales por paradas no programadas, principalmente en fases críticas como el centrifugado. Además, una encuesta de la Cámara de Comercio de Lima (2021) señala que el 65% de las empresas prestadoras de servicios industriales identifican la falta de control sobre sus equipos como el principal factor

que afecta su rendimiento, lo que redundará en demoras en la atención a los clientes y menor competitividad. Frente a este panorama, resulta indispensable el diseño e implementación de soluciones tecnológicas que permitan un monitoreo inalámbrico eficiente del proceso de centrifugado, para optimizar el mantenimiento.

La empresa ARGUS' SERVICE SRL se dedica al reciclaje y recuperación de plásticos, uno de los procesos es el de lavado-secado de los plásticos, la cual es propensa a averías y fallas técnicas debido al desconocimiento del estado del motor, los accesorios, la falta de mantenimiento a tiempo y monitoreo constante de los equipos. En circunstancias normales, al final de cada turno, el operador registra manualmente el seguimiento, luego lo ingresa en la computadora y lo registra, pero no se identifican discrepancias individuales, este problema no es exclusivo de otras empresas, ya que no existen sistemas que ayuden a planificar y recordar el mantenimiento, que permitan disponer de informes veraces sobre el estado de las máquinas con antelación. Al malograrse durante las horas de trabajo implica la paralización de toda la línea del proceso, para llevar a cabo el mantenimiento, lo que resulta en una reducción de la productividad y pérdidas de dinero, ya que 1 hora de trabajo representa 1 tonelada y media de plástico reciclado producido por la línea. Por ello, se debería llevar adelante un monitoreo de estado en la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado, con sensores para obtener los datos de estado en tiempo real para que se programen mantenimientos preventivos y/o predictivos para que no se afecte el funcionamiento de la línea.

1.1.2. Formulación del problema general

¿Cómo diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico para mejorar el mantenimiento del proceso de centrifugado de la línea de lavado-secado en la empresa ARGUS' Service S.R.L.?

1.1.3. Formulación de los problemas específicos

P.E.1: ¿Cuál es la situación actual de mantenimiento de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado?

P.E.2: ¿Cómo diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico con sensores de manera que se pueda verificar el estado de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado?

P.E.3: ¿Cómo diseñar un sistema de transmisión y visualización de datos para obtener los datos de estado en la máquina de centrifugado a través de un servidor remoto con visualización en tiempo real?

P.E.4: ¿De qué manera implementar y validar el sistema de monitoreo inalámbrico de la máquina de centrifugado mediante un prototipo?

1.2. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico para mejorar el mantenimiento del proceso de centrifugado de la línea de lavado-secado en la empresa ARGU'S Service S.R.L.

1.2.2. Objetivos específicos

O.E.1: Analizar la situación actual de mantenimiento de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado.

O.E.2: Diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico con sensores de manera que se pueda verificar el estado de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado.

O.E.3: Diseñar un sistema de transmisión y visualización de datos para obtener los datos de estado en la máquina de centrifugado a través de un servidor remoto con visualización en tiempo real.

O.E.4: Implementar y validar el sistema de monitoreo inalámbrico de la máquina de centrifugado mediante un prototipo.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación técnica

La incorporación de tecnologías de monitoreo inalámbrico permite una supervisión en tiempo real de variables críticas en los equipos de centrifugado, esto ayuda la detección temprana de anomalías (Interempresas, 2024). Además, el uso de sensores inalámbricos elimina la necesidad de cableado extenso, lo que simplifica la instalación y reduce los riesgos asociados al mantenimiento manual en zonas de difícil acceso.

1.3.2. Justificación Económica

Económicamente, la adopción de sistemas de monitoreo inalámbrico y estrategias de mantenimiento predictivo puede generar ahorros significativos (Interempresas, 2024). Estudios indican que la implementación adecuada de estas estrategias puede reducir los costos de mantenimiento entre un 15% y un 30% (UDAX, 2023). Estos datos demuestran que las tecnologías de monitoreo y mantenimiento predictivo no solo es óptima, sino que también aporta beneficios económicos sustanciales a mediano y largo plazo.

1.3.3. Justificación social

Desde una perspectiva social, la mejora en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de centrifugado contribuye a la estabilidad operativa de las empresas, lo que puede traducirse en una mayor seguridad laboral y en la protección del empleo, la reducción de fallas y paradas no programadas disminuye la exposición del personal a situaciones de riesgo y permite una planificación más eficiente de las tareas de mantenimiento (Ticnus, 2024). Además, la implementación de tecnologías avanzadas en el mantenimiento industrial puede fomentar la capacitación y el desarrollo profesional del personal técnico, promoviendo una cultura de innovación y mejora continua dentro de la organización.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Alcances

- Acceso remoto a los datos del estado de la centrífuga durante los programas de mantenimiento preventivo.
- Posibilitar la programación de mantenimiento predictivo utilizando datos obtenidos de los sistemas y de los requerimientos de las máquinas.
- En este caso, el sistema para monitoreo inalámbrico llega hasta la etapa de implementación en un prototipo.

1.4.2. Limitaciones

- Deficiencia en la recopilación de información para los equipos presentes en la línea de producción.
- El diseño del sistema solo se realizó para la máquina de centrifugado de la línea de lavado-secado, siendo este la actual necesidad de la empresa.
- El uso de dispositivos experimentales como módulos y/o microcontroladores desarrollados para prototipos y sistemas de pruebas.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Según Gómez y Adrián (2021), en su investigación desarrolló un sistema de extracción de información de equipos industriales. Se instalaron sensores en puntos críticos y luego la información se presentó a los usuarios en tiempo real a través de aplicaciones web, utilizando un sistema de ejecución de fabricación MES conectado a la nube y una aplicación que analiza los datos de producción. Los datos del sistema podrían analizarse utilizando servicios cognitivos adicionales, que fueron posibles gracias a sus capacidades. Finalmente, los datos se guardaron en una base de datos con el fin de analizar y presentar resultados de un contexto histórico más amplio. Se pudo concluir que el desarrollo del sistema se realizó con éxito, pues se logró automatizar la recolección de los datos de manera automática, generándose gráficas del monitoreo y registro de información. Finalmente, la información se almacena en una base de datos para que posteriormente los resultados puedan ser analizados y presentados a lo largo de un período histórico más amplio. Se concluyó que el desarrollo de este sistema fue exitoso porque pudo recolectar datos automáticamente, generar gráficos de monitoreo y registrar información.

Según Hernández (2020), en su investigación utilizó plataformas de código abierto para crear un prototipo de sistema de monitoreo de motores, lo que resulta ventajoso para crear prototipos rápidos y simples. El objetivo de la propuesta fue mantener al usuario al tanto del uso de corriente de los motores para detectar comportamientos anormales en esta variable, logrando la temprana detección de fallas incipientes. El sistema consta de varios nodos sensor, cada uno mide el consumo de corriente y envía esta información de forma inalámbrica a un dispositivo coordinador para su gestión, esto se logró gracias a la integración de la tecnología ZigBee.

Según Pozo (2021), en su investigación realizó una investigación en la que utilizó el Internet de las Cosas (IoT) y la creación de un software para poner en marcha soluciones revolucionarias que contribuirán a incrementar el rendimiento y la calidad de los productos generados en invernaderos. El propósito fue desarrollar

un sistema de seguimiento que facilite el monitoreo de variables esenciales en un invernadero, basado en una red de sensores, con el fin de supervisar las variables climáticas y así efectuar cambios desde cualquier sitio con conexión a internet. Se pudo concluir que el desarrollo del sistema se realizó con éxito, logrando definir detalladamente, con cierto nivel de seguridad, los flujos interactivos entre cliente, servidor web y la red de sensores.

Rodríguez (2021), en su investigación desarrolló un sistema de monitoreo para una máquina universal de ensayo que tiene la capacidad de supervisar variables de presión y corte al realizar pruebas destructivas de materiales. La meta consistió en diseñar e instaurar un sistema de recolección de datos que incluía un sensor, un equipo de medición DAQ (circuito de procesamiento de señales eléctricas y convertidor A/D digital-analógico) y una computadora personal con software programado. Un convertidor de analógico a digital es el componente más importante porque es el agente que convierte las señales analógicas en digitales.

Según Zheng et al. (2020), realizaron un estudio con el objetivo de avanzar del mantenimiento predictivo tradicional a un sistema de mantenimiento inteligente mediante la integración de IA y IIoT, con el fin de mejorar la precisión y eficiencia en la predicción de fallas en motores a reacción. Utilizaron una metodología cuantitativa con sensores inalámbricos que recolectaron datos operacionales (temperatura, vibración, presión) de más de 50 motores durante seis meses, procesados por algoritmos de aprendizaje automático. Los resultados mostraron que el sistema inteligente predijo fallas con una precisión del 87%, mejorando en un 25% la efectividad del mantenimiento predictivo tradicional, que alcanzó solo el 62%. En conclusión, el estudio evidenció que la integración de IA y IIoT en mantenimiento industrial optimiza la eficiencia, reduce costos y mejora la fiabilidad, superando al mantenimiento predictivo tradicional en efectividad y ahorro.

Según Faheem et al. (2021), llevaron a cabo un estudio cuyo objetivo fue revisar la aplicación de redes de sensores inalámbricos en el mantenimiento predictivo de sistemas industriales. Para ello, realizaron una revisión sistemática de casos de estudio en los que se implementaron WSN para monitorear equipos

industriales, como bombas, motores y compresores. La metodología consistió en la recopilación y análisis de datos de diferentes investigaciones que implementaron sensores inalámbricos como vibración, temperatura y presión, y que utilizaron algoritmos de aprendizaje. Los resultados revelaron que los sistemas de mantenimiento predictivo basados en WSN lograron una precisión promedio del 88% en la detección de fallas y una reducción del 30% en los tiempos de inactividad no planificados, lo que incrementó la eficiencia operativa en un 25%. Además, los costos de mantenimiento disminuyeron en un 20%, debido a la reducción de intervenciones innecesarias. En conclusión, los autores concluyeron que la implementación de WSN en mantenimiento predictivo mejora significativamente la precisión en la detección de fallas, optimiza el rendimiento y reduce los costos operativos, siendo una herramienta eficaz para aumentar la fiabilidad y eficiencia de los sistemas industriales.

Según Duran et al. (2024), tuvieron como finalidad diseñar de un sistema de monitoreo de salud para astronautas basado en inteligencia artificial. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada, diseño experimental y enfoque cuantitativo, la población la conformó en datos simulados y la muestra se obtuvo a través la selección de parámetros. Los resultados que se obtuvieron fueron que tuvo una precisión del 90 % en la detección de posibles enfermedades, con una tasa de transmisión de datos de 1,5 kbps. Finalmente se concluye que el sistema desarrollado tiene el potencial de ser eficaz para la detección temprana de alteraciones en la salud de los astronautas.

Según Vera (2021), tuvo como finalidad mejorar la recolección de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de San Martín de Porres mediante el diseño de un sistema de contenedores inteligentes. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada con un diseño experimental, de enfoque cuantitativo. Los resultados fueron que el nodo final procesa los datos para ser transmitidos mediante la red inalámbrica mediante el transceptor LoRa RFM95 de 915 MHz, la funcionalidad va en intervalos de tiempo de 10 segundos. Finalmente se concluye que se optimizó la recolección

de residuos sólidos domiciliarios mediante el sistema de contenedores inteligentes en San Martín de Porres.

Según Zarria (2025), tuvo como finalidad diseñar e implementar un sistema de monitoreo remoto IoT de parámetros para un sistema fotovoltaico aislado. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada con un diseño experimental, enfoque cuantitativo. Los resultados fueron que en pruebas de campo demuestran la precisión de las mediciones, la fiabilidad de la comunicación y la rapidez de respuesta de alertas SMS. En conclusión, el proyecto establece una base sólida para el desarrollo de soluciones escalables en la gestión de sistemas fotovoltaicos, abriendo la posibilidad de implementar mejoras futuras como la incorporación de algoritmos predictivos, el uso de almacenamiento en la nube y la creación de una aplicación móvil que optimice la experiencia del usuario.

Según Ayaque (2023), tuvo como finalidad detectar arritmias y distermias mediante el diseño de un sistema vestible de monitoreo a distancia de temperatura y frecuencia cardíaca. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada con un diseño experimental y de enfoque cuantitativo. Los resultados que se obtuvieron fueron que el prototipo planteado se medirá la frecuencia cardíaca y la temperatura, dentro del rango de 34 a 40°C; ambos con un error relativo máximo del 5%. Finalmente se concluye que se logró de realizar de manera óptima el diseño de un sistema vestible de monitoreo a distancia de temperatura y frecuencia cardíaca para la detección de arritmias y distermias.

2.2. MARCO TEÓRICO

Los equipos son la base de la producción de una fábrica, por lo cual es indispensable tener un adecuado mantenimiento de ellos; por ello, es necesario monitorear y mantener los equipos en un estado adecuado, evitando así fallas durante la producción (Zonta et al., 2020). Los equipos tradicionalmente han sido monitoreados de manera manual, y los mantenimientos son realizados recién cuando existe la falla en plena producción, pues el monitoreo no es constante ni adecuado, por ser ejecutado de manera subjetiva (Soori et al., 2023). Por lo tanto, no se puede evitar el impacto negativo del tiempo de inactividad por las fallas, lo

que implica altos costos; con el desarrollo de redes de sensores inalámbricos, surgió el internet industrial, que brinda un nuevo impulso al monitoreo y mantenimiento de equipos y líneas de producción.

2.2.1. Sistema de monitoreo

Existen varios sistemas de monitorización en instalaciones industriales, la mayoría de ellos son soluciones individuales adaptadas a las necesidades de cada empresa, estos sistemas buscan optimizar procesos y utilizar tecnología para extraer datos importantes de los equipos utilizando diversas herramientas técnicas (Folgado et al., 2023). Proporcionar a los usuarios información relevante sobre el rendimiento del sistema y si el sistema está funcionando según lo previsto. Lograr este objetivo requiere del desarrollo de sistemas de adquisición de datos (DAQ), que son las herramientas utilizadas en la aplicación (Pontarolli et al., 2022). Se fundamentan en redes de sensores, fundamentales para la mejora y automatización de procedimientos, el avance en el desarrollo de software ha permitido la creación de sistemas de vigilancia, junto con aplicaciones y servicios en línea.

2.2.2. Mantenimiento

Se define el mantenimiento como el conjunto de intervenciones necesarias para que los equipos alcancen un rendimiento óptimo, se pretende que las máquinas, los locales y equipos y las zonas de trabajo sean saludables (Bafandegan et al., 2025). La tarea de mantenimiento es monitorear periódica y continuamente los equipos, tomar decisiones preventivas y correctivas y, de ser necesario, reemplazar inmediatamente los equipos para prevenir peligros en la producción.

2.2.3. Mantenimiento correctivo

Según Karabağ et al. (2020), también conocido como "mantenimiento reactivo", es post-falla, lo que significa que sólo se toman medidas cuando un sistema falla. Se realizó una serie de acciones para corregir errores con las siguientes consecuencias: interrupciones inesperadas en el proceso productivo, impacto en la cadena productiva, impacto financiero (costos de reparación) y programación del mantenimiento del sistema.

2.2.4. Mantenimiento Preventivo

Según Pagare et al. (2022), conjunto de actividades periódicas en una instalación o máquina para optimizar su funcionamiento y evitar paradas inesperadas. Proporciona un método para la vida útil de los elementos que componen el equipo y se basa en un plan de mantenimiento que toma en cuenta estas vidas.

2.2.5. Mantenimiento Predictivo

Consiste en determinar el verdadero estado técnico del equipo en todo momento durante su funcionamiento, utilizando para ello un procedimiento de medición sistemático de los parámetros más relevantes del equipo. El objetivo es reducir el tiempo de inactividad debido al mantenimiento preventivo, reduciendo así los costos de mantenimiento y no producción (Pincirolí et al., 2023). Dicha implementación requiere no solo las inversiones necesarias en equipos, sino también el empleo de personal adecuadamente calificado.

2.2.6. Automatización

Según Pincirolí et al. (2023), la automatización es una materia interdisciplinaria que involucra el uso y conocimiento de sistemas mecánicos, electrónicos e informáticos. La automatización industrial se refiere a la implementación de la automatización en un proceso o en un aparato industrial. Se denomina fábrica a lo que se busca automatizar.

2.2.7. Red de Sensores Inalámbricos

La idea de red de sensores se refiere a un grupo de aparatos autónomos y especializados que interactúan de manera inalámbrica o por medio de cables para recopilar información física como temperatura, humedad, movimiento, presión, entre otros (Sulakshana y Kamatam, 2023). El contenido recolectado se traslada a lugares externos para su procesamiento, almacenaje y realización de operaciones de programación.

2.2.8. Internet de las Cosas (IoT)

Según, se caracteriza como una innovadora estructura fundamentada en Internet mundial que promueve el intercambio de productos y servicios entre las redes de la cadena de suministro, y ejerce un efecto notable en la seguridad y privacidad de los participantes implicados. IoT (Internet of Things), es una idea que genera proyecciones y expectativas, facilitando la implementación de una extensa variedad de aplicaciones en años recientes (Aldawsari, 2025). Los sistemas de IoT necesitan desarrollar plataformas y dispositivos físicos, con la introducción del IoT se podrá gestionar de forma óptima todos los datos y visualizarlos desde diferentes tipos de terminales, como teléfonos móviles, ordenadores, etc., lo que permitirá monitorizar los equipos a través de cualquier dispositivo electrónico en cualquier momento y lugar, proporcionando flexibilidad y disponibilidad inmediata de recolección de información para aceptar decisiones rápidas y preventivas (Ali et al., 2025).

2.2.9. Microcontroladores (μ C)

Un microcontrolador es un circuito integrado de programación que alberga todos los elementos de un ordenador. Se emplea para regular el desempeño de una tarea determinada y, por su reducido tamaño, generalmente está incorporado en el aparato que gestiona. Es una microcomputadora que controla la entrada y salida del sistema, tiene un procesador y memoria donde solo se requiere un programa para ejecutar una aplicación específica, sus principales funciones son la automatización y el procesamiento de la información (Pagare et al., 2022).

2.2.10. Módulo ESP32

El ESP32 es un microcontrolador altamente integrado que combina conectividad inalámbrica avanzada, capacidades de procesamiento eficientes y una amplia gama de periféricos en un solo chip (Abdulwahhab, 2022).

Diseñado por Espressif Systems, este chip representa una evolución del ya popular ESP8266, con mejoras significativas tanto en potencia como en funcionalidad. Gracias a sus características, el ESP32 se ha consolidado como una

de las plataformas más utilizadas en el desarrollo de proyectos de Internet de las Cosas (IoT), sistemas embebidos, automatización, dispositivos portátiles, y soluciones conectadas de bajo consumo.

Uno de los aspectos más destacados del ESP32 es su doble núcleo de procesamiento con arquitectura Xtensa LX6 de 32 bits, capaz de operar a frecuencias de hasta 240 MHz. Esta capacidad de cómputo le permite ejecutar múltiples tareas simultáneamente, incluyendo la gestión de comunicaciones, sensores, actuadores y algoritmos de control o procesamiento de datos en tiempo real, el chip también está disponible en variantes con un solo núcleo, para aplicaciones donde el consumo energético es prioritario (Abdulwahhab, 2022).

En cuanto a conectividad, el ESP32 sobresale por integrar de forma nativa Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth 4.2, incluyendo Bluetooth Low Energy (BLE). Esta combinación permite crear dispositivos que se comunican de forma inalámbrica tanto con redes locales como con otros dispositivos cercanos, sin necesidad de módulos externos (Abdulwahhab, 2022).

Esta característica es esencial en aplicaciones como sistemas de monitoreo remoto, controladores de iluminación, cerraduras inteligentes, estaciones meteorológicas, y asistentes personales, entre muchos otros.

El ESP32 también incluye una gran variedad de periféricos de entrada y salida que permiten interactuar con el entorno físico. Cuenta con múltiples pines GPIO configurables, convertidores ADC de hasta 12 bits, DACs integrados, interfaces de comunicación como SPI, I2C, UART, CAN, y controladores PWM (Abdulwahhab, 2022). Además, dispone de módulos integrados para funciones más especializadas como sensores de efecto Hall, acelerómetros (en algunas versiones), controladores táctiles capacitivos, temporizadores de alta resolución y soporte para protocolos de cifrado y seguridad.

Desde el punto de vista del software, el ESP32 es compatible con diversos entornos de desarrollo, lo que amplía su accesibilidad a diferentes tipos de usuarios. Los principiantes suelen optar por entornos como el Arduino IDE o PlatformIO, que

ofrecen una curva de aprendizaje más suave y una gran comunidad de soporte. Para desarrolladores más avanzados o aplicaciones comerciales, ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework) proporciona acceso directo a todas las capacidades del chip, permitiendo un control más profundo del hardware, optimización de recursos y personalización del sistema operativo embebido (Abdulwahhab, 2022).

En términos de eficiencia energética, el ESP32 ha sido diseñado pensando en aplicaciones de bajo consumo, ofrece varios modos de operación, incluyendo modo de suspensión profunda (deep sleep) y modo de ahorro de energía (light sleep), que permiten reducir drásticamente el consumo cuando el dispositivo no está activo.

2.2.11. Base de Datos

La información recolectada por la red de sensores, tras recibir la aplicación web, debe ser guardada en un componente conocido como base de datos, al que solo los usuarios autorizados pueden acceder, es un conjunto de datos que modela eventos en realidades paralelas y brinda soporte a aplicaciones informáticas (Abdulwahhab, 2022).

2.3. MARCO METODOLOGICO

2.3.1. Tipo de investigación

El presente trabajo se enmarca dentro del tipo de investigación tecnológica aplicada, ya que se orientó a la solución de un problema práctico mediante la utilización de conocimientos teóricos y técnicos previamente adquiridos, en este caso, se aplicaron principios y herramientas relacionadas con los sistemas de monitoreo para optimizar el proceso de mantenimiento en la línea de lavado y secado.

2.3.2. Metodología de la investigación

A) Contexto, ambiente o escenario de la investigación

La presente investigación se desarrolla en la empresa de servicios ARGU' S Service S.R.L. especializada en el lavado y secado a gran escala., el estudio se centró específicamente en el área de producción donde se realiza el proceso de centrifugado, una etapa crítica en la cadena operativa que incide directamente en la eficiencia del servicio y en el estado operativo de los equipos.

El periodo de ejecución de la investigación comprende un plazo de seis meses, durante este tiempo, se llevó a cabo el levantamiento de información técnica, el diseño del sistema de monitoreo inalámbrico y la evaluación preliminar de su implementación en campo. La empresa ha autorizado el desarrollo del estudio, facilitando el acceso a sus instalaciones, equipos, manuales técnicos y al personal de mantenimiento, bajo el cumplimiento de protocolos de seguridad industrial y confidencialidad de datos internos.

Además, se cuenta con el apoyo del área de mantenimiento, que colaboró en la validación de datos y en la instalación de sensores de monitoreo, la infraestructura del lugar es adecuada para la implementación de redes de sensores inalámbricos, ya que los equipos están distribuidos en una sola planta con conectividad eléctrica estable y cobertura de red local, lo que favorece la viabilidad técnica de la implementación del proyecto.

B) Muestra o participantes

La población determinada estuvo compuesta por todas las máquinas de la empresa, mientras que la muestra para el presente estudio está conformada por la máquina centrífuga de la línea de lavado-secado.

C) Diseño

El diseño que se utilizó es preexperimental, ya que se procedió a manipular la variable independiente, la cual es el sistema de monitoreo inalámbrico y se

observó cómo influye en la variable dependiente, la cual es el mantenimiento de la línea de lavado - secado.

D) Procedimiento

O.E.1: Analizar la situación actual de mantenimiento de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado.

- Revisar los registros de mantenimiento preventivo y correctivo de la máquina.
- Identificar las fallas más frecuentes y sus causas.
- Aplicar entrevistas a operarios y técnicos para conocer prácticas actuales, tiempos de respuesta y dificultades comunes.

O.E.2: Diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico con sensores de manera que se pueda verificar el estado de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado.

- Identificar qué variables se deben monitorear (temperatura, corriente, voltaje, etc.).
- Buscar sensores industriales compatibles (con bajo consumo, robustos, etc.).
- Seleccionar microcontroladores o nodos de adquisición de datos

O.E.3: Diseñar un sistema de transmisión y visualización de datos para obtener los datos de estado en la máquina de centrifugado a través de un servidor remoto con visualización en tiempo real.

- Determinar si será en la nube o servidor local.
- Establecer flujos de datos desde sensores → microcontrolador → red → servidor.
- Diseñar la base de recolección de información y consulta de datos.

O.E.4: Implementar el sistema de monitoreo inalámbrico y validar la mejora de mantenimiento de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado.

- Montar sensores en los puntos estratégicos de la máquina de centrifugado.

- Realizar pruebas funcionales del sistema completo
- Comparar los indicadores de mantenimiento antes y después de la implementación.

2.4. MARCO LEGAL

2.4.1. Constitución Política del Perú

La Constitución Política del Perú establece principios que promueven el desarrollo científico, tecnológico y la eficiencia productiva, fundamentales para la presente investigación sobre la implementación de un sistema de monitoreo inalámbrico:

- Artículo 13: "La educación tiene como finalidad el desarrollo integral de la persona humana. El Estado reconoce y garantiza la libertad de enseñanza. Promueve la creación, desarrollo y difusión de la ciencia y la tecnología."
- Artículo 59: "El Estado estimula la creación de riqueza y garantiza la libertad de trabajo y la libertad de empresa, comercio e industria."
- Artículo 61: "El Estado facilita y vigila la libre competencia. Combate toda práctica que la limite y el abuso de posiciones dominantes o monopólicas."

2.4.2. Otros Documentos Legales

A. Códigos

- Código Civil Peruano – Artículo 1969: Quien por acción u omisión causa daño a otro está obligado a indemnizarlo. Aunque general, este principio puede aplicarse en el contexto de responsabilidad tecnológica e industrial, incentivando la adopción de tecnologías que minimicen errores humanos o técnicos que puedan generar fallos costosos o perjudiciales.

B. Leyes

- Ley N° 28303 – Ley Marco de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica: Esta ley establece en su Artículo 3 que el Estado fomenta la innovación tecnológica en todos los sectores productivos del país. Además, señala que se

debe promover la adopción de tecnologías que mejoren la eficiencia de los procesos industriales.

- Ley N° 27658 – Ley Marco de Modernización de la Gestión del Estado: Promueve la eficiencia y eficacia del aparato productivo estatal y privado, incluyendo el uso de tecnologías modernas para la mejora continua de procesos industriales.

C. Decretos Supremos

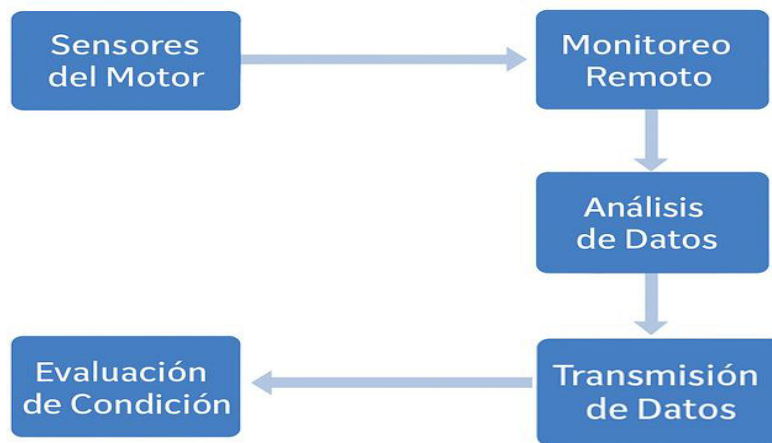
- Decreto Supremo N.º 003-2014-PCM – Reglamento de la Ley Marco de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica: Regula la implementación de políticas tecnológicas en el país, incentivando el uso de tecnologías emergentes para mejorar los procesos productivos, industriales y de servicios.
- Decreto Supremo N.º 013-2020-PCM – Política Nacional de Transformación Digital: Reconoce la importancia de la digitalización en los sectores económicos, promoviendo activamente el uso de sensores, redes inalámbricas y sistemas de monitoreo como parte del ecosistema digital que debe ser integrado a las industrias peruanas.

2.5. DIAGRAMA DE BLOQUES O ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La Figura 1 muestra la estructura del sistema, a través de un diagrama de bloques en la que se evidencia desde la recopilación de los datos, el proceso de los mismos y la presentación de los resultados.

Figura 1

Diagrama de bloques



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

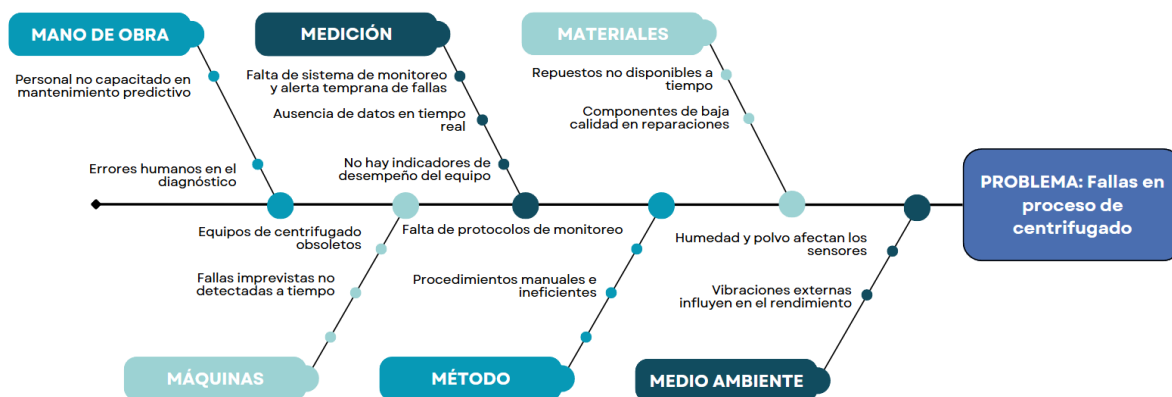
3.1. Analizar la situación actual de mantenimiento de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado

Para determinar la mejora en el mantenimiento del proceso de centrifugado de la línea de lavado y secado, se analizó en primer lugar la situación actual de la empresa, para identificar la causa de las fallas, para esto se realizó una inspección en base al libro de incidencias de fallas (Anexo 01) y se realizó un diagrama de Ishikawa, teniendo en cuenta las causas y efecto de los problemas analizados de la empresa.

En la Figura 2 se tiene que, en los problemas encontrados relacionados a las fallas en el proceso de centrifugado, están el personal no capacitado en mantenimiento predictivo, los errores humanos en el diagnóstico, la falta de sistema de monitoreo y alerta temprana de fallas, la ausencia de datos en tiempo real, no hay indicadores de desempeño del equipo, repuestos no disponibles a tiempo, componentes de baja calidad en reparaciones, equipos de centrifugado obsoletos, las fallas imprevistas no detectadas a tiempo, la falta de protocolos de monitoreo, los procedimientos manuales e ineficientes, humedad y polvo afectan los sensores y las vibraciones externas influyen en el rendimiento, estas causas tienen como consecuencia fallas en el proceso de centrifugado en la empresa.

Figura 2

Diagrama de Ishikawa



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 1 se observa la matriz de contrastación de causas permitió evaluar cuantitativamente las principales fuentes que ocasionan las fallas en el proceso de centrifugado en la empresa, se utilizaron criterios ponderados como la frecuencia de ocurrencia, el impacto operativo y la intervención en el proceso en base al libro de incidencia de fallas (Anexo 01), asignándoles puntajes del 1 al 5, entre las causas evaluadas, la falta de sistema de monitoreo y alerta temprana de fallas obtuvo el puntaje más alto, indicando que esta deficiencia representa el mayor obstáculo para una mejora en el mantenimiento del proceso centrifugado. Este resultado refleja que, si bien existen factores como fallas imprevistas no detectadas a tiempo, la ausencia de datos en tiempo real, los equipos de centrifugado obsoletos, la falta de protocolos de monitoreo, esto se traduce en decisiones subóptimas que generan problemas con las fallas en el proceso de centrifugado, por tanto, colocar sensores inalámbricos debe ser la acción prioritaria en el plan de mejora.

Tabla 1

Matriz de enfrentamiento de causas

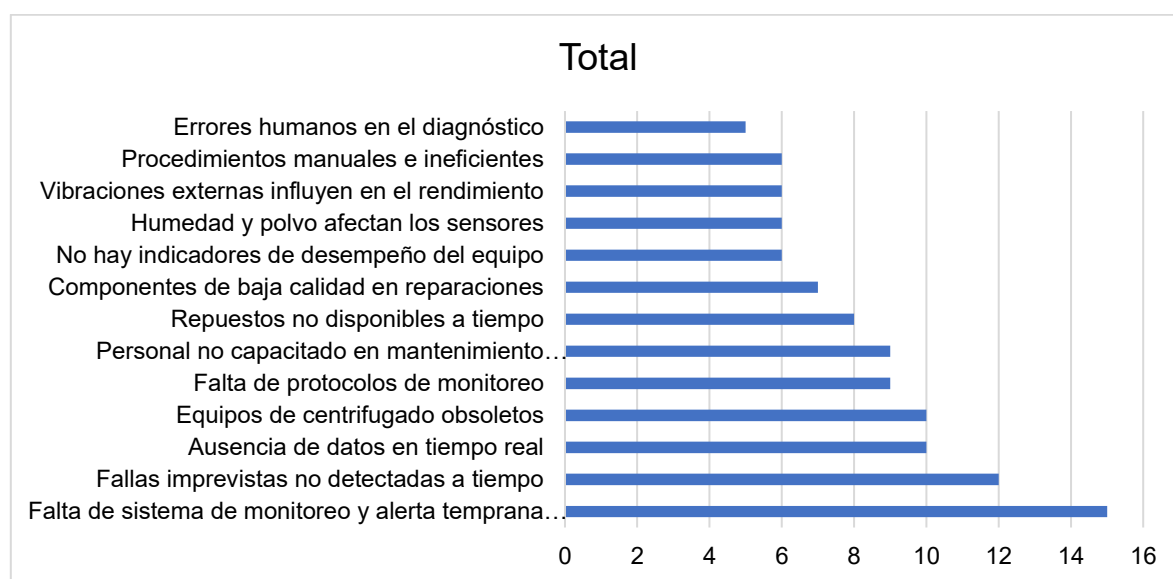
Nº	Causa	Impacto	Frecuencia	Intervención	Total
1	Falta de sistema de monitoreo y alerta temprana de fallas	5	5	5	15
2	Fallas imprevistas no detectadas a tiempo	4	4	4	12
3	Ausencia de datos en tiempo real	4	3	3	10
4	Equipos de centrifugado obsoletos	3	4	3	10
5	Falta de protocolos de monitoreo	3	3	3	9
6	Personal no capacitado en mantenimiento predictivo	3	3	3	9
7	Repuestos no disponibles a tiempo	3	3	2	8
8	Componentes de baja calidad en reparaciones	2	3	2	7
9	No hay indicadores de desempeño del equipo	2	2	2	6
10	Humedad y polvo afectan los sensores	2	2	2	6
11	Vibraciones externas influyen en el rendimiento	2	2	2	6
12	Procedimientos manuales e ineficientes	2	2	2	6
13	Errores humanos en el diagnóstico	1	2	2	5

Fuente: Elaboración propia

La Figura 3 muestra que la causa con mayor prioridad para intervenir en el proceso de mantenimiento del centrifugado es la falta de sistema de monitoreo y alerta temprana de fallas, con un puntaje total de 15, lo que evidencia su alta incidencia, frecuencia y necesidad de intervención. Esta ausencia impide la recolección de datos en tiempo real y limita la implementación de mantenimiento predictivo, lo que incrementa las fallas imprevistas, los tiempos de parada y los costos operativos. Le siguen en importancia las causas relacionadas con las fallas imprevistas no detectadas a tiempo, la ausencia de datos en tiempo real, reflejando una problemática técnica generalizada en la falta de automatización y diagnóstico temprano. Otras causas, como la obsolescencia de equipos, la falta de protocolos de monitoreo y la capacitación insuficiente del personal, presentan un impacto moderado pero relevante, mientras que factores como errores humanos y procedimientos manuales tienen menor peso en la problemática general. En conjunto, el gráfico señala con claridad que la solución más eficaz y prioritaria es la implementación de un sistema de monitoreo inalámbrico, base tecnológica que permitiría mejorar significativamente la eficiencia y anticipación en las tareas de mantenimiento.

Figura 3.

Gráfico de barras



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2 muestra el número de fallas mensuales registradas en distintas maquinarias del proceso de producción durante el segundo semestre del año (de julio a diciembre). Se observa que la máquina centrífuga es el equipo con mayor número de fallas, acumulando un total de 29 fallas en seis meses, lo que representa un foco crítico de mantenimiento, esta máquina muestra una recurrencia constante de fallas cada mes, lo que indica una deficiencia en su monitoreo o mantenimiento preventivo. A continuación, con una menor cantidad de fallas, se encuentran el calentador, el colector de polvos, el alimentador de tornillo de 7 metros y el sistema de secado, con fallas intermitentes a lo largo del periodo. Por otro lado, equipos como el tanque separador de metales, la lavadora de fricción, la poza de flotación, el alimentador de tornillo de 5 metros y el molino presentan fallas esporádicas o nulas, lo cual sugiere un comportamiento más estable o menor uso. En conjunto, esta tabla evidencia la necesidad urgente de implementar un sistema de monitoreo más eficiente especialmente para la máquina centrífuga y de revisar los planes de mantenimiento de los equipos con fallas recurrentes, con el fin de reducir los tiempos de parada y optimizar la operatividad del proceso.

Tabla 2

Número de fallas de julio a diciembre del año 2024

Maquinarias	N° Fallas					
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Máquina centrífuga	6 fallas	5 fallas	4 fallas	4 fallas	5 fallas	5 fallas
Tanque separador de metales	1 fallas	0 fallas	1 fallas	0 fallas	0 fallas	1 fallas
Alimentador de tornillo de 7 mts	0 fallas	1 fallas	0 fallas	0 fallas	1 fallas	0 fallas
Lavadora de fricción	1 fallas	0 fallas	1 fallas	0 fallas	0 fallas	1 fallas
Poza de Flotación	1 fallas	0 fallas	0 fallas	0 fallas	1 fallas	0 fallas
Alimentador de tornillo de 5 mts	0 fallas	1 fallas	0 fallas	0 fallas	1 fallas	0 fallas
Calentador	0 fallas	1 fallas	0 fallas	0 fallas	0 fallas	1 fallas
Sistema de Secado	1 fallas	0 fallas	0 fallas	1 fallas	0 fallas	0 fallas
Molino	1 fallas	0 fallas	0 fallas	1 fallas	0 fallas	0 fallas
Colector de Polvos	0 fallas	0 fallas	1 fallas	0 fallas	1 fallas	0 fallas

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3 muestra un análisis detallado del desempeño de las maquinarias dentro de un sistema de producción, considerando indicadores clave como las horas programadas, horas trabajadas, horas de paro, número de fallas, MTBF (Tiempo promedio entre fallas), MTTR (Tiempo promedio entre reparaciones) y disponibilidad. La mayoría de las maquinarias muestran un comportamiento altamente eficiente, con niveles de disponibilidad superiores al 99%, lo cual refleja un excelente estado operativo y una gestión de mantenimiento eficaz. Equipos como los alimentadores de tornillo, el sistema de secado, el colector de polvos y el calentador presentan una muy baja incidencia de fallas y un MTBF superior a las 800 horas, lo que indica que estas máquinas tienen una alta confiabilidad y operan durante largos períodos sin interrupciones. Sin embargo, la máquina centrífuga se destaca negativamente en esta evaluación, registra el mayor número de fallas (29), un MTBF significativamente bajo de 50.52 horas, y una disponibilidad de apenas 90.43%, la más baja entre todas las máquinas analizadas. Estos valores reflejan que este equipo sufre fallas con mucha frecuencia y que su tiempo de paro representa una pérdida considerable de productividad.

Tabla 3

Número de fallas de julio a diciembre del año 2024

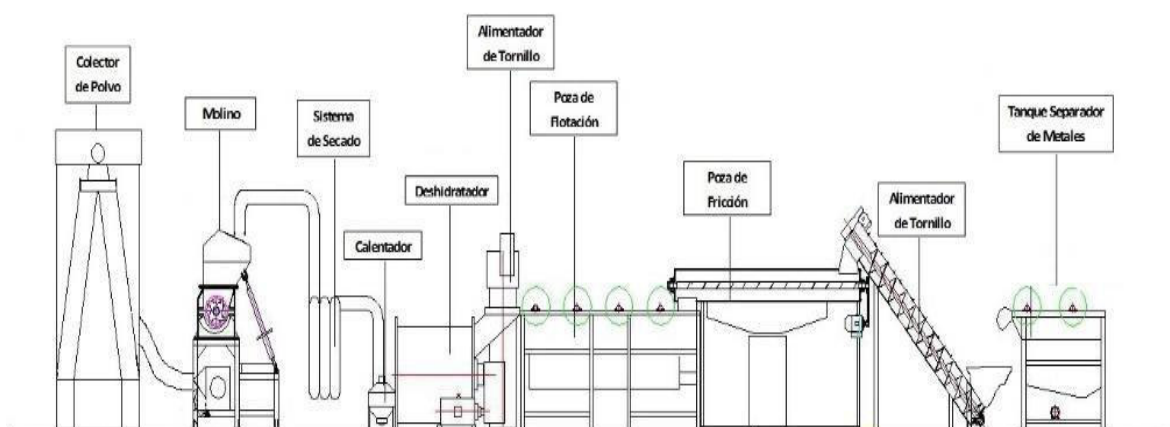
Maquinarias	Horas programadas	Horas trabajadas	Horas paradas	N° de fallas	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Máquina centrífuga	1620	1465	155	29	50.52	5.34	90.43%
Tanque separador de metales	1620	1606	14	3	535.33	4.67	99.14%
Alimentador de tornillo de 7 mts	1620	1610	10	2	805.00	5.00	99.38%
Lavadora de fricción	1620	1605	15	3	535.00	5.00	99.07%
Poza de Flotación	1620	1609	11	2	804.50	5.50	99.32%
Alimentador de tornillo de 5 mts	1620	1610	10	2	805.00	5.00	99.38%
Calentador	1620	1611	9	2	805.50	4.50	99.44%
Sistema de Secado	1620	1610	10	2	805.00	5.00	99.38%
Molino	1620	1608	12	2	804.00	6.00	99.26%
Colector de Polvos	1620	1611	9	2	805.50	4.50	99.44%

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4 muestra la línea de producción, la cual está compuesta por un tanque separador de metal, tornillos alimentadores, trituradoras o molinos, alimentadores de tornillo, lavadora de fricción, la poza flotante, tornillo alimentador, máquina centrifugadora o deshidratadora, ductos de recorrido de material, sistema de ventilación y transporte de material con aire caliente, un separador de polvillos y un silo de descarga de producto terminado, la capacidad de producción es de 1500 kg / h.

Figura 4.

Línea de los equipos de lavado y molienda



Fuente: Obtenido de True Energy (2025)

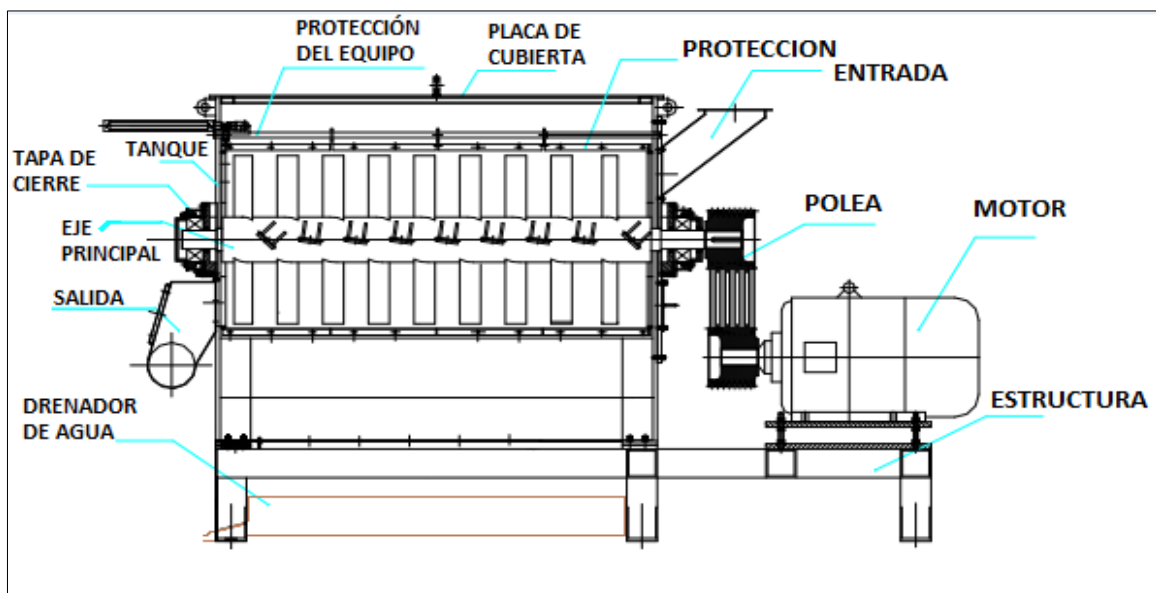
La máquina centrífuga o deshidratador es un equipo industrial diseñado para realizar procesos de separación o secado mediante fuerza centrífuga, está equipada con un motor eléctrico de alta potencia de 37 kW, que opera a una tensión de 440 voltios, con una corriente de consumo de 63 amperios y una velocidad de rotación de 1,185 revoluciones por minuto (rpm). Estas características indican que es un equipo robusto, capaz de manejar cargas exigentes y operar de forma continua en entornos industriales.

La Figura 5 muestra la estructura física, la máquina tiene unas dimensiones de 1,400 mm de largo, 1,200 mm de ancho y 1,300 mm de alto, y un peso total de 1,100 kilogramos, lo que refleja una construcción sólida y pesada, fija en planta. Las partes que están en contacto con la materia prima están fabricadas en acero

inoxidable tipo 304, un material resistente a la corrosión, ideal para aplicaciones donde se requiere higiene y durabilidad, como en procesos de lavado o secado de materiales. Además, cuenta con una malla de pantalla con un diámetro de 3 mm, adecuada para retener partículas de cierto tamaño, y un espesor del acero inoxidable de 10 mm, lo cual garantiza una estructura resistente al desgaste por fricción y vibraciones.

Figura 5.

Estructura General del equipo de lavado y secado



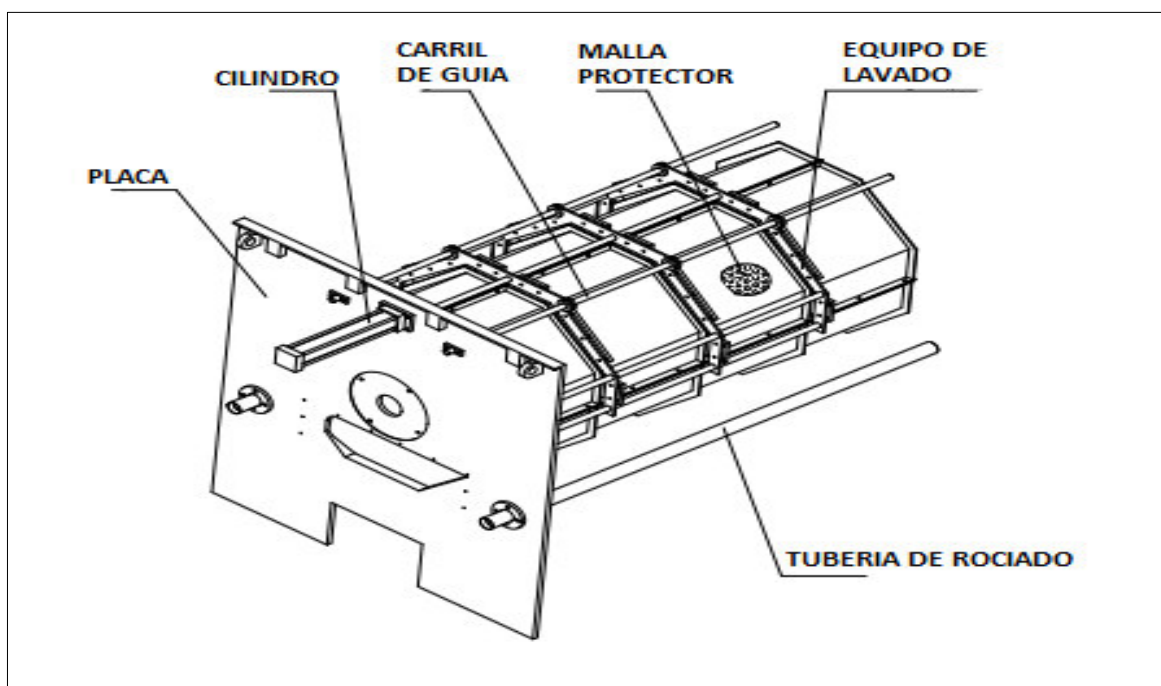
Fuente: Obtenido de True Energy (2025)

La Figura 6 muestra un esquema técnico del sistema de limpieza de la malla de protección de un equipo industrial, parte de una línea de lavado o separación de materiales. En el diseño se identifican varios componentes clave: una placa frontal que sirve de soporte estructural, un cilindro y un carril de guía que probablemente permiten el desplazamiento o posicionamiento de la estructura para facilitar su mantenimiento. La malla protectora, que cubre el equipo, actúa como barrera física para evitar la entrada de objetos externos y garantizar la seguridad operativa. Además, se tiene un equipo de lavado, que trabaja en conjunto con una tubería de rociado, cuya función es aplicar agua o algún fluido de limpieza directamente sobre la malla para remover residuos acumulados, este diseño sugiere un enfoque

automatizado o semiautomatizado para el mantenimiento, permitiendo una limpieza eficiente sin necesidad de desmontar completamente el sistema, lo cual reduce los tiempos de parada y mejora la higiene operativa del equipo.

Figura 6.

Limpieza del sistema de malla de protección



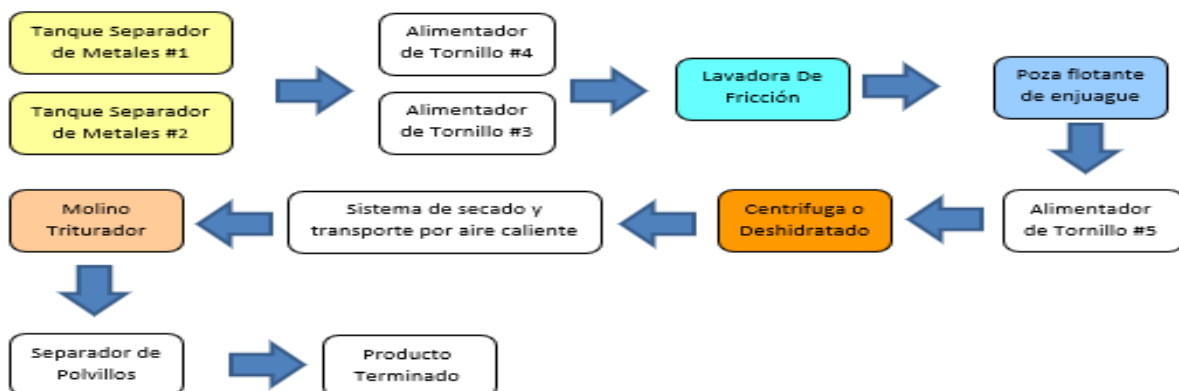
Fuente: Obtenido de True Energy (2025)

3.2. Diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico con sensores de manera que se pueda verificar el estado de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado

La Figura 7 representa el diagrama de flujo del proceso productivo de la línea de lavado, secado y triturado, donde el material ingresa inicialmente a través de dos tanques separadores de metales, que eliminan impurezas metálicas. Posteriormente, es transportado por los alimentadores de tornillo #3 y #4 hacia la lavadora de fricción, donde se realiza una limpieza intensiva. Luego, el material pasa a la poza flotante de enjuague, donde se eliminan los residuos remanentes con agua. A través del alimentador de tornillo #5, el flujo continúa hacia la centrifuga o deshidratador, que extrae el exceso de agua mediante fuerza centrífuga. Una vez deshidratado, el material es conducido al sistema de secado y transporte por aire caliente, donde se completa el secado. Finalmente, llega al molino triturador para ser reducido a un tamaño adecuado, pasa por el separador de polvillos para eliminar partículas finas no deseadas y concluye como producto terminado, listo para su empaque o uso final. Este flujo evidencia una secuencia técnica bien estructurada, enfocada en la limpieza, secado y acondicionamiento del material, asegurando la calidad del producto final.

Figura 7.

Diagrama de flujo de la nueva línea de lavado



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4 se observa que el módulo ESP32 es la mejor opción para sistemas de monitoreo inalámbrico debido a su excelente relación entre bajo consumo energético, costo accesible y conectividad Wi-Fi estable. Su facilidad de integración con sensores y plataformas como Arduino o NodeMCU lo convierte en una solución ideal para enviar datos en tiempo real en redes locales sin necesidad de infraestructura compleja.

Tabla 4

Matriz Morfológica del Módulo de Comunicación Inalámbrica

Función/Característica	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Protocolo de conexión	Wi-Fi (802.11 b/g/n)	Wi-Fi	LoRa
Tipo de microcontrolador	ESP8266	ESP32	STM32 + ESP01
Consumo energético	Bajo	Medio	Muy bajo
Alcance de transmisión	~100 metros	~50 metros	>1 kilómetro
Facilidad de integración	Alta	Alta	Media

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5 se muestra que el sensor LM35 destaca por su alta precisión y su salida analógica proporcional a la temperatura, lo que facilita su uso en entornos industriales donde se requiere control térmico exacto. A diferencia de sensores digitales como el DHT22, el LM35 tiene mejor precisión en el rango industrial, lo cual es esencial para detectar sobrecalentamientos en equipos como motores o transformadores.

Tabla 5

Matriz Morfológica del Sensor de Temperatura

Función/Característica	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Tipo de sensor	Digital	Analógico	Infrarrojo
Modelo	DHT22	LM35	MLX90614
Rango de temperatura	-40°C a +80°C	-55°C a +150°C	-70°C a +380°C
Precisión	±0.5°C	±0.2°C	±0.5°C
Salida	Digital serial	Voltaje analógico	Digital I2C

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6 se observa que se ha seleccionado el sensor ACS712 como la mejor alternativa dentro de la matriz morfológica debido a su capacidad para medir tanto corriente alterna (AC) como continua (DC), lo que les otorga una mayor versatilidad frente a otros sensores más limitados. Aunque su precisión es media en comparación con opciones como el INA219 o el SCT-013, esta es suficiente para muchas aplicaciones prácticas donde no se requieren niveles extremadamente altos de exactitud. Además, su salida de voltaje analógico facilita la lectura directa mediante microcontroladores comunes, sin la necesidad de implementar protocolos de comunicación digital como I2C. También destaca por ofrecer diferentes rangos de medición ($\pm 5A$, $\pm 20A$ y $\pm 30A$), lo que permite adaptarlo a distintas necesidades de corriente. En conjunto, estas características hacen del ACS712 una opción equilibrada y eficiente para proyectos que buscan una solución confiable, sencilla de implementar y con un costo accesible.

Tabla 6

Matriz Morfológica del Sensor de Corriente

Función/Característica	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Tipo de medición	AC y DC	Solo AC	Solo DC
Modelo	ACS712	SCT-013	INA219
Precisión	Media	Alta	Alta
Salida	Voltaje analógico	Corriente analógica	I2C Digital
Rango de corriente	$\pm 5A$ / $\pm 20A$ / $\pm 30A$	0–100A	0–3.2A

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7 se muestra que el sensor ZMPT101B ha sido seleccionado como la opción más adecuada en la matriz morfológica para medición de voltaje debido a su especialización en corriente alterna (AC), siendo ideal para aplicaciones domésticas o industriales conectadas a la red eléctrica. Este sensor destaca por ofrecer alta precisión en la detección de voltaje, una característica esencial para

obtener mediciones confiables en sistemas eléctricos. Su salida de voltaje analógico facilita la integración con microcontroladores sin requerir protocolos complejos, lo cual simplifica el diseño electrónico. Además, tiene un amplio rango de medición hasta 250V AC, lo que cubre perfectamente el rango común de alimentación eléctrica residencial y comercial. Estas cualidades hacen del ZMPT101B una opción eficaz, accesible y técnicamente adecuada para proyectos que requieren monitoreo de voltaje de forma segura y precisa en corriente alterna.

Tabla 7

Matriz Morfológica del Sensor de Voltaje

Función/Característica	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Tipo de medición	AC	DC	AC y DC
Modelo	ZMPT101B	INA219	HLW8012
Precisión	Alta	Alta	Media
Salida	Voltaje analógico	I2C Digital	PWM Digital
Rango de voltaje	0–250V AC	0–26V DC	0–300V AC

Fuente: Elaboración propia

3.3. Diseñar un sistema de transmisión y visualización de datos para obtener los datos de estado en la máquina de centrifugado a través de un servidor remoto con visualización en tiempo real.

La Figura 8 representa el diseño electrónico de un sistema de monitoreo basado en un microcontrolador ESP32, cuya función principal es leer datos analógicos de sensores conectados a un motor monofásico y transmitir estos datos de forma inalámbrica hacia la plataforma ThingSpeak, el sistema está compuesto por tres sensores: uno para temperatura, otro para corriente, y un tercero para voltaje, todos conectados al ESP32.

En el centro del sistema se encuentra el ESP32, un microcontrolador de alto rendimiento con conectividad WiFi integrada, este dispositivo recibe señales analógicas desde los sensores, las interpreta, y posteriormente las envía a Internet para su almacenamiento y visualización, debido a su capacidad para trabajar con entradas analógicas, el ESP32 puede leer directamente la señal de los sensores, sin requerir conversores externos. A la izquierda del diagrama se ubica el sensor de temperatura LM35, este sensor de tres pines está diseñado para ofrecer una salida de voltaje linealmente proporcional a la temperatura ambiente, su terminal de alimentación (VCC) está conectada a la salida de 3.3 V del ESP32, mientras que su pin de tierra (GND) se conecta al GND común del sistema. El pin de salida de señal (OUT) está vinculado al pin GPIO 34 del ESP32, este valor analógico es leído por el microcontrolador y convertido a grados Celsius en el código, considerando que el LM35 proporciona 10 mV por cada grado.

A la derecha del ESP32 se encuentra el sensor de corriente ACS712, encargado de medir la corriente que consume el motor, este sensor también se conecta mediante tres pines principales: alimentación, tierra y señal de salida, dado que el ACS712 requiere una alimentación de 5 V para operar correctamente, se conecta a una fuente de 5 V (que puede venir del mismo ESP32 si se utiliza el pin VIN o de una fuente externa).

La salida de este sensor va conectada al pin GPIO 35 del ESP32, la señal que emite el ACS712 es proporcional a la corriente detectada en sus terminales de

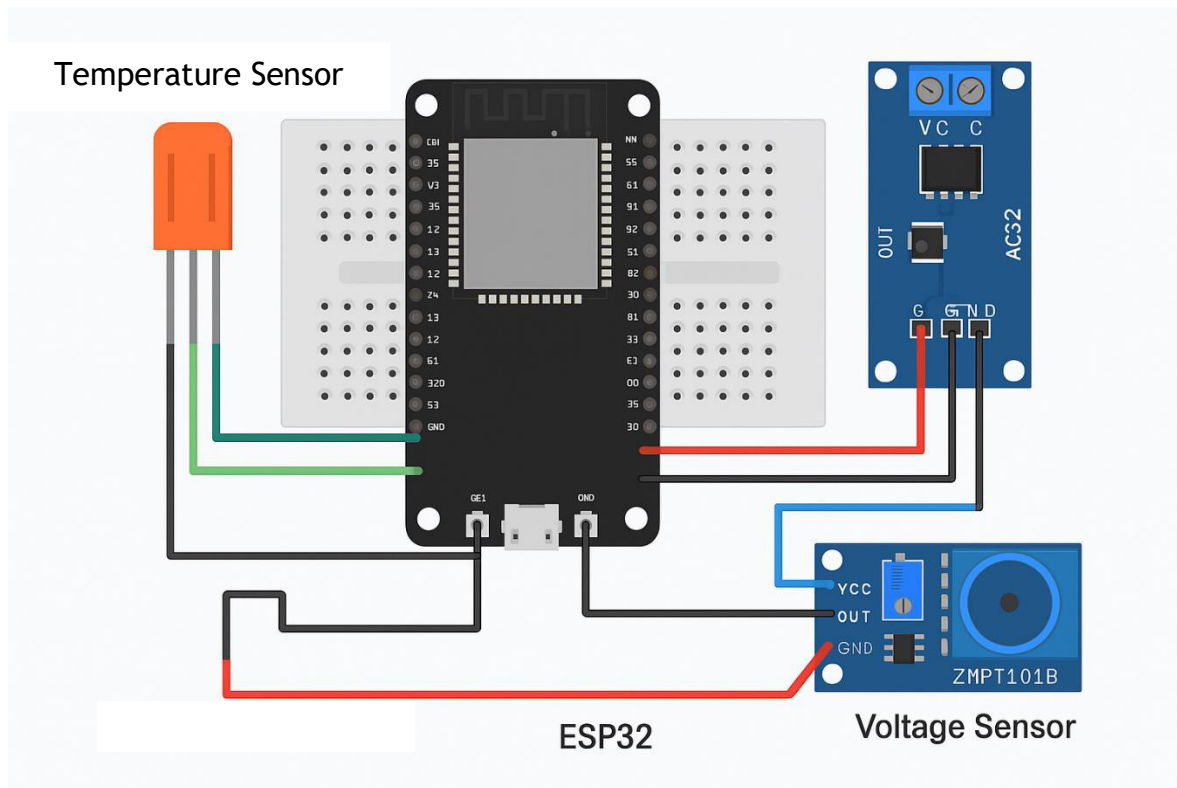
entrada, ubicados en la parte superior del módulo. En la parte inferior derecha del circuito se encuentra el sensor de voltaje ZMPT101B, este módulo está diseñado específicamente para medir voltaje de corriente alterna, y emplea un pequeño transformador para reducir la tensión de entrada a un nivel seguro y medible por el microcontrolador, al igual que el ACS712, necesita una alimentación de 5 V para operar, por lo que también se conecta a la fuente de 5 V del sistema, su salida se conecta al pin GPIO 32 del ESP32. El ZMPT101B entrega una señal analógica proporcional al voltaje de entrada, y permite al sistema saber si hay caídas o picos en la alimentación del motor.

Todos los sensores comparten una conexión común a tierra (GND) con el ESP32, esta referencia eléctrica es esencial para asegurar lecturas precisas y evitar ruido o errores en la medición. La alimentación también es compartida, aunque debe respetarse el nivel de tensión que necesita cada componente, una vez conectados todos los sensores, el ESP32 inicia el proceso de lectura.

Cada cierto intervalo de tiempo (cada 20 segundos), el microcontrolador lee los valores de temperatura, corriente y voltaje. Luego convierte estos valores analógicos a sus respectivas unidades físicas mediante operaciones matemáticas realizadas en el código del programa. Una vez que los datos están listos, el ESP32 establece una conexión WiFi y los envía a la plataforma ThingSpeak, donde quedan almacenados y disponibles para su visualización gráfica o análisis posterior. Este circuito es ideal para la implementación de un sistema de monitoreo preventivo de motores eléctricos, ya que permite observar a distancia y en tiempo real los principales parámetros de operación del motor. De este modo, se pueden detectar a tiempo situaciones de riesgo como sobrecalentamientos, sobrecargas o caídas de voltaje, ayudando a evitar daños en el motor o interrupciones en el servicio.

Figura 8.

Esquema de conexión



Fuente: Elaboración propia

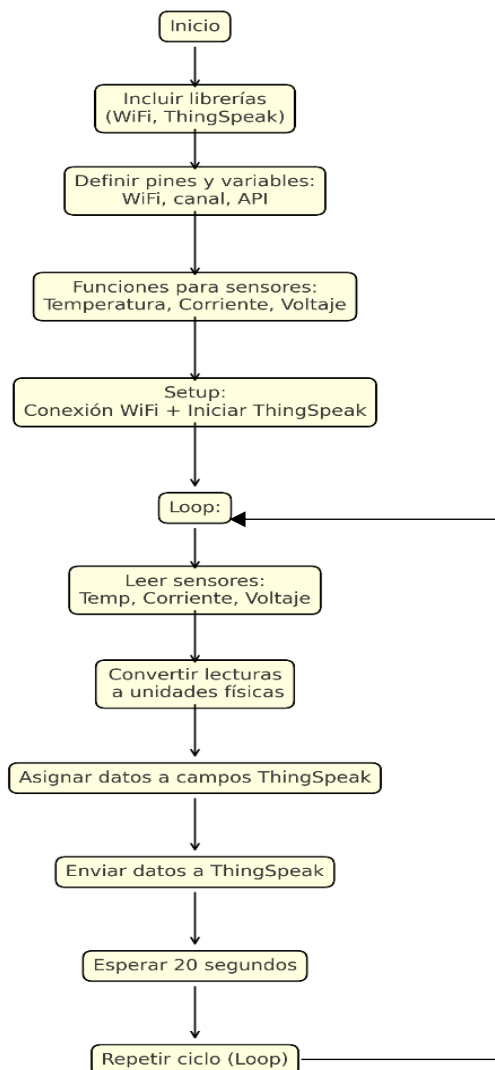
En la Figura 9 se muestra el diagrama de flujo del proceso completo de adquisición y transmisión de datos de temperatura, voltaje y corriente desde un motor monofásico utilizando un ESP32 y la plataforma ThingSpeak. El sistema comienza con la inclusión de las librerías necesarias para la conectividad WiFi y la comunicación con la nube, luego se configuran los pines y se definen las variables para la conexión y canal de datos. En el bloque de configuración inicial (`setup()`), el ESP32 establece la conexión con la red inalámbrica e inicia la comunicación con ThingSpeak. Una vez completada esta etapa, el programa entra en un bucle continuo donde realiza las tareas de monitoreo en tiempo real.

Dentro del ciclo principal (`loop()`), el ESP32 lee los valores provenientes de los sensores conectados: uno para temperatura (como un LM35), otro para corriente (como el ACS712) y otro para voltaje (como el ZMPT101B), estos datos, leídos

como señales analógicas, se convierten en unidades físicas ($^{\circ}\text{C}$, amperios y voltios) mediante fórmulas específicas. Posteriormente, cada valor se asigna a un campo distinto del canal ThingSpeak y se transmiten a la nube. Una pausa de aproximadamente 20 segundos permite regular la frecuencia de envío antes de repetir el proceso, lo que asegura una operación estable y continua del sistema de monitoreo, esta secuencia se repite de manera indefinida, garantizando la actualización constante del estado del motor en tiempo real.

Figura 9.

Diagrama de Flujo



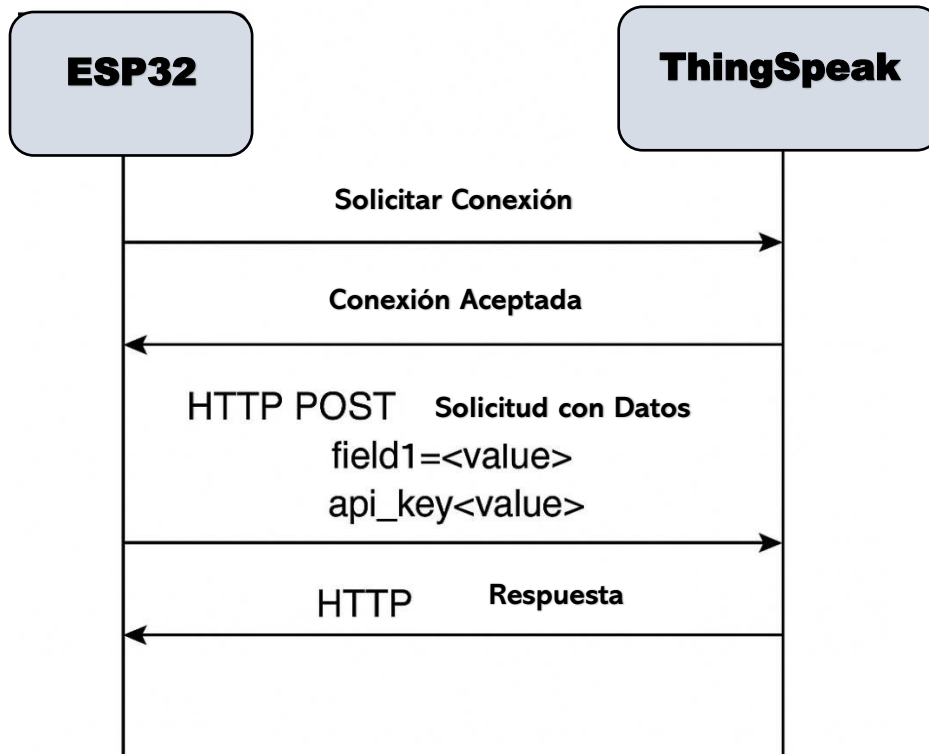
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 10 se muestra que la programación fue realizada para un ESP32 que transmite las lecturas de temperatura, corriente y voltaje hacia la plataforma ThingSpeak, la cual permite visualizar y almacenar datos en la nube. El sistema utiliza sensores analógicos conectados a los pines del ESP32 y se conecta a una red WiFi para transmitir los datos de manera inalámbrica, en este proyecto, la comunicación entre el ESP32 y la plataforma ThingSpeak se realiza a través del protocolo HTTP (HyperText Transfer Protocol), uno de los estándares más utilizados en redes para la transferencia de datos como se puede visualizar en la Figura 11, el ESP32 utiliza este protocolo mediante funciones proporcionadas por la librería ThingSpeak.h, que encapsula las solicitudes HTTP necesarias para subir datos a la nube. Cada vez que el microcontrolador envía una lectura, lo hace generando una solicitud HTTP POST hacia un canal específico en ThingSpeak, incluyendo en el encabezado la clave API que autoriza la escritura.

El uso de HTTP también implica que la comunicación se realice sobre una red WiFi previamente configurada en el ESP32, una vez establecida esta conexión, el microcontrolador puede interactuar con servidores externos usando peticiones estructuradas. En este caso, ThingSpeak actúa como un servidor que recibe, almacena y visualiza los datos enviados, aunque HTTP no es un protocolo de tiempo real ni el más eficiente en cuanto a tamaño de datos, su fiabilidad y facilidad de implementación lo convierten en una herramienta clave en aplicaciones de telemetría remota como la de este sistema, de este modo, se garantiza que cada lectura tomada por los sensores sea correctamente enviada y registrada en la nube para su posterior análisis.

Figura 10.

Diagrama de comunicación empleando el protocolo HTTP



Fuente: Elaboración propia

La Figura 11 muestra que, como primera etapa, se incluyen dos librerías esenciales: WiFi.h y ThingSpeak.h. La primera permite al ESP32 conectarse a una red inalámbrica, lo cual es fundamental para la transmisión de datos, la segunda habilita la comunicación con la plataforma ThingSpeak, que será utilizada para almacenar y visualizar los datos de los sensores. A su vez, se definen variables como el nombre de la red WiFi (SSID), su contraseña, el número del canal en ThingSpeak y la clave API de escritura. También se declara un cliente WiFi, que será el canal de comunicación con el servidor de ThingSpeak. Esta etapa sienta las bases para que el dispositivo se conecte correctamente a la red y pueda enviar datos al entorno en la nube.

Figura 11.

Inclusión de librerías y configuración de credenciales y cliente WiFi

```
#include <WiFi.h>
#include "ThingSpeak.h"

const char* ssid = "TU_SSID";
const char* password = "TU_PASSWORD";

const char* apiKey = "TU_API_KEY";
const int channelNumber = TU_CHANNEL_ID;

WiFiClient client;
```

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 12, se observa que como segunda etapa se asignan los pines del ESP32 a los sensores: uno para temperatura (Pin 34), otro para corriente (Pin 35) y otro para voltaje (Pin 32), el uso de sensores analógicos como el LM35 (para temperatura), el ACS712 (para corriente) y el módulo ZMPT101B (para voltaje). En la etapa de escalamiento de señales, el objetivo principal es transformar las lecturas analógicas crudas obtenidas desde los sensores en valores físicos significativos que puedan ser interpretados y utilizados adecuadamente en el monitoreo del sistema. Cada sensor tiene una respuesta analógica distinta que debe ser escalada a su correspondiente unidad de medida a través de cálculos específicos. Por ejemplo, el sensor de temperatura LM35, conectado al pin 34 del ESP32, entrega una señal de salida lineal con una sensibilidad de 10 mV/°C, lo que significa que para convertir la lectura analógica del ADC del ESP32 (de 0 a 4095 en una resolución de 12 bits), esto se basa en el hecho de que 3.3V es el voltaje de referencia del ESP32 y 100 equivale a la inversa de 10 mV/°C. Para la corriente, el sensor ACS712, conectado al pin 35, proporciona una salida que varía en función de la intensidad que fluye por el conductor, este sensor tiene una sensibilidad diferente dependiendo de su modelo (por ejemplo, 185 mV/A para el modelo de 5A). El valor de voltaje leído se convierte

primero desde la lectura ADC, y luego se compara respecto al punto de reposo (típicamente 2.5V sin carga). Por último, para el sensor de voltaje ZMPT101B, conectado al pin 32, la señal debe ser escalada usando el mismo principio de conversión ADC, pero además se aplica un factor de calibración determinado por el divisor resistivo interno del módulo, dado que el sensor entrega una señal proporcional al voltaje de entrada AC, se utiliza un procedimiento de muestreo y promedio para determinar el valor eficaz (RMS).

Figura 12.

Declaración de pines y funciones de lectura de sensores

```
const int pinTemp = 34;
const int pinCorriente = 35;
const int pinVoltaje = 32;
```

```
float leerTemperatura() {
    int lectura = analogRead(pinTemp);
    float voltaje = lectura * 3.3 / 4095.0;
    float tempC = voltaje * 100.0;
    return tempC;
}
```

```
float leerCorriente() {
    int lectura = analogRead(pinCorriente);
    float voltaje = lectura * 3.3 / 4095.0;
    float corriente = (voltaje - 2.5) / 0.185;
    return corriente;
}
```

```
float leerVoltaje() {
    int lectura = analogRead(pinVoltaje);
    float voltaje = lectura * 3.3 / 4095.0;
    float Ventrada = voltaje * 100;
    return Ventrada;
}
```

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 13, se tiene que la función `setup()` se ejecuta una sola vez cuando el ESP32 inicia, su propósito es establecer la conexión del dispositivo con la red WiFi, se imprime por el puerto serial el estado de la conexión para verificar el proceso. Una vez conectado, se inicializa el cliente de ThingSpeak utilizando el cliente WiFi previamente declarado. Esto asegura que, una vez que comiencen a tomarse lecturas, el sistema ya estará listo para enviarlas sin interrupciones. Esta etapa garantiza que el ESP32 se comuniqué correctamente con el entorno externo (Internet y ThingSpeak).

Figura 13.

Configuración inicial

```
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  WiFi.begin(ssid, password);  
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
    delay(1000);  
  }  
  ThingSpeak.begin(client);  
}
```

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 14, se evidencia que la lógica central del programa se encuentra dentro de la función `loop()`, que se ejecuta en forma repetitiva, en cada iteración, el sistema obtiene una lectura de cada sensor: temperatura, corriente y voltaje. Estas lecturas, ya convertidas a unidades físicas, se asignan a los campos correspondientes del canal de ThingSpeak (campos 1, 2 y 3). Posteriormente, se utiliza la función `writeFields()` para enviar todos los datos simultáneamente a la nube. El envío es verificado y se informa por el monitor serial si fue exitoso. Esta lógica permite la actualización periódica de los datos del motor en tiempo real, lo cual es esencial para el monitoreo continuo del estado del sistema. Al final de cada ciclo del `loop()`, se incorpora una pausa de 20 segundos utilizando la función `delay()`. Este retardo es necesario porque ThingSpeak, en su versión gratuita, impone un límite de una escritura cada 15 segundos.

Al esperar 20 segundos, se evita sobrecargar el servidor y se asegura el cumplimiento de esta política. Luego de este intervalo, el ciclo se repite indefinidamente, realizando nuevas lecturas y enviándolas nuevamente a la plataforma, esta etapa final garantizó que el sistema opere de forma estable y continua a lo largo del tiempo.

Figura 14.

Ciclo principal

```
void loop() {  
    float temp = leerTemperatura();  
    float corriente = leerCorriente();  
    float voltaje = leerVoltaje();  
  
    ThingSpeak.setField(1, temp);  
    ThingSpeak.setField(2, corriente);  
    ThingSpeak.setField(3, voltaje);  
  
    int x = ThingSpeak.writeFields(channelNumber, apiKey);  
    delay(20000);  
}
```

Fuente: Elaboración propia

3.4. Implementar y validar el sistema de monitoreo inalámbrico de la máquina de centrifugado mediante un prototipo.

El motor utilizado en las pruebas del sistema de monitoreo basado en ESP32 corresponde a un motor monofásico de inducción, ampliamente utilizado en aplicaciones residenciales e industriales de baja potencia. Este tipo de motor opera con una tensión nominal de 220 voltios en corriente alterna y una frecuencia estándar de 60 Hz. La corriente nominal del motor es de aproximadamente 1.5 amperios, lo cual está dentro del rango esperado para motores de pequeña capacidad, específicamente uno de 0.5 caballos de fuerza (HP), equivalente a cerca de 373 vatios de potencia. Su velocidad nominal se encuentra en el rango de 1400 a 1500 revoluciones por minuto (RPM), adecuada para aplicaciones como ventiladores, bombas pequeñas o herramientas eléctricas domésticas.

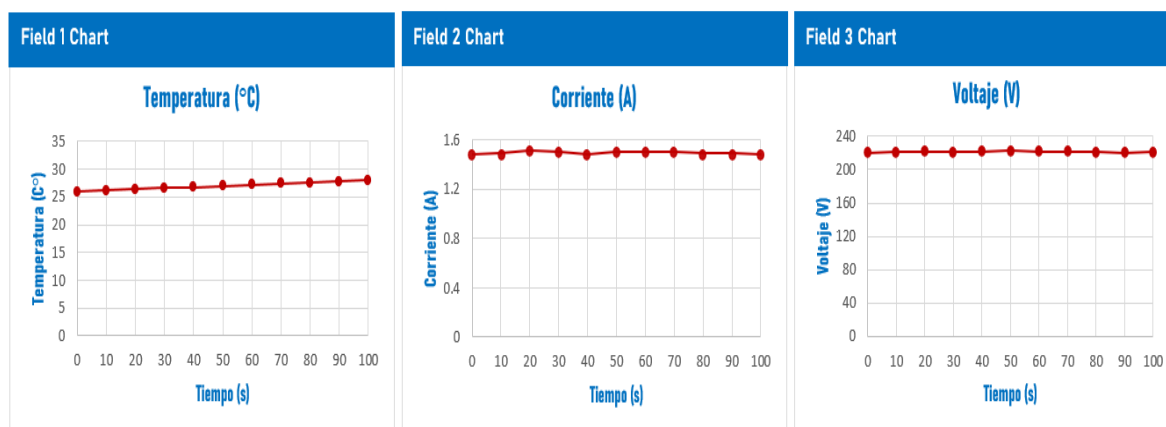
El motor es de una sola fase (monofásico), y emplea un sistema de arranque que combina un capacitor de arranque con uno de trabajo para asegurar una operación estable desde el encendido hasta el régimen permanente. Posee un factor de potencia aproximado de 0.85, lo que indica una eficiencia eléctrica moderada en su conversión de energía. Además, cuenta con aislamiento térmico de clase B o F, proporcionando seguridad operativa frente a aumentos de temperatura durante su funcionamiento. Estas características hacen de este motor una opción representativa y funcional para la implementación y evaluación del sistema de monitoreo de temperatura, corriente y voltaje mediante sensores analógicos y la plataforma ThingSpeak.

En la Figura 15, se evidencia que durante la primera prueba realizada el día 02 de julio a las 9:00 horas de la mañana en un periodo de 100 segundos, se observa que la temperatura inicia en valores cercanos a los 26 °C y presenta un aumento gradual hasta aproximadamente 28 °C, lo que indica una fase de calentamiento inicial del motor bajo carga ligera. Este comportamiento es característico en motores eléctricos que recién entran en operación, debido al incremento progresivo de las pérdidas por efecto Joule en los devanados. La corriente eléctrica registrada se mantiene estable alrededor de los 1.5 A, con

pequeñas variaciones atribuibles a ligeras oscilaciones en la carga mecánica o a ruido eléctrico en la medición. Esto sugiere que el motor trabaja en su zona de eficiencia nominal sin presentar sobrecorrientes ni picos de arranque anormales. El voltaje oscila ligeramente entre 220 V y 223 V, lo cual entra dentro del margen de tolerancia del $\pm 5\%$ para sistemas residenciales o industriales de baja tensión. Esta estabilidad en la alimentación garantiza que el motor no experimenta caída de tensión significativa que comprometa su desempeño.

Figura 15.

Gráficos de la Prueba 1



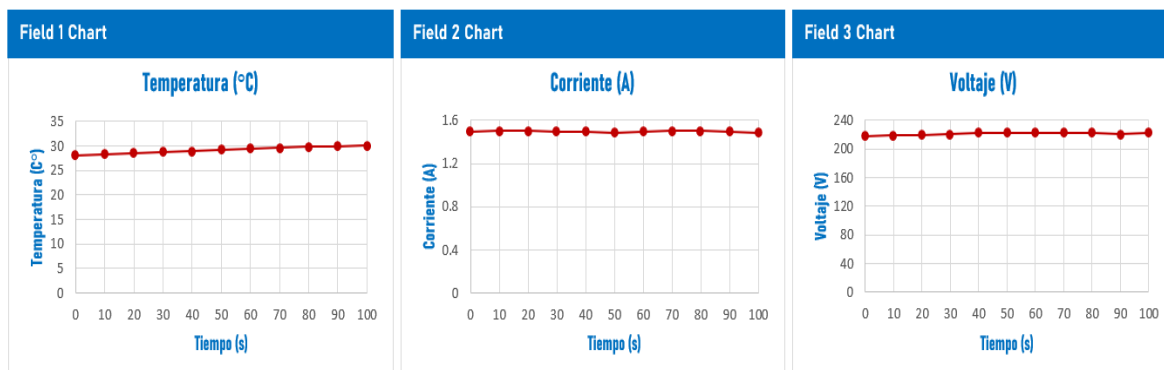
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 16 se muestra que en la segunda prueba realizada el día 02 de julio a las 12:00 del mediodía en un periodo de 100 segundos, la temperatura asciende de manera más pronunciada, alcanzando valores alrededor de 28 a 30 °C, lo que puede asociarse a un funcionamiento sostenido con carga moderada. El perfil térmico sigue siendo lineal y no muestra puntos de inflexión que indiquen riesgos de sobrecalentamiento. La corriente medida permanece en el rango de 1.5 A, indicando que la carga se mantiene constante y dentro del régimen nominal. Este comportamiento refuerza la estabilidad operativa del motor, sugiriendo que el sistema de potencia y los componentes de arrastre funcionan sin obstrucciones o aumentos de fricción. En cuanto al voltaje, se registra una leve caída transitoria hasta 218 V, seguida de una recuperación rápida. Esto puede deberse a una variación breve en la red de suministro, común en entornos industriales o

residenciales. Sin embargo, no afecta la corriente ni la temperatura, lo que indica una buena regulación del sistema de alimentación.

Figura 16.

Gráficos de la Prueba 2

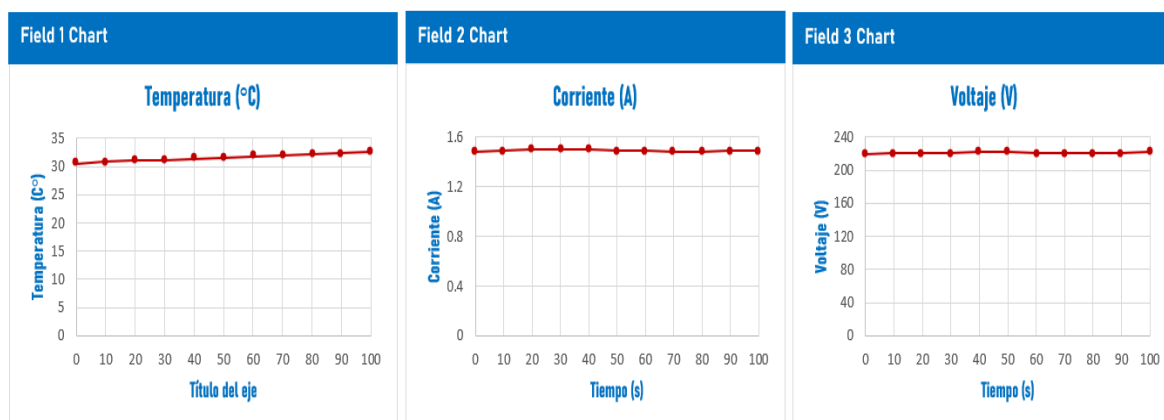


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 17 se observa que en esta última prueba realizada el día 02 de julio a las 4:00 de la tarde en un periodo de 100 segundos, la temperatura alcanza valores superiores a los 31 °C, lo cual es coherente con un régimen de operación prolongado bajo condiciones normales de ventilación. El aumento térmico sigue siendo progresivo y controlado, lo que sugiere que el disipador térmico o sistema de refrigeración del motor cumple adecuadamente su función. La corriente se mantiene estable alrededor de 1.5 A, lo que indica que el motor opera de forma continua sin que se detecten signos de sobrecarga, cortocircuitos o desequilibrios en el consumo. No se observan transientes abruptos, lo cual es un buen indicativo de estabilidad mecánica y eléctrica. El voltaje se mantiene ligeramente por debajo de los 220 V en los primeros segundos, lo que podría asociarse a una fase de arranque con carga más exigente. No obstante, al estabilizarse en torno a los 221–222 V, confirma que la red de alimentación no compromete el rendimiento del sistema.

Figura 17.

Gráficos de la Prueba 3



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 8, se presenta un análisis comparativo de tres pruebas experimentales realizadas sobre un sistema de monitoreo para un motor monofásico, destacando el comportamiento de las variables temperatura, corriente y voltaje bajo diferentes condiciones operativas. En las tres pruebas se observa un incremento controlado de la temperatura, reflejando una disipación térmica adecuada sin riesgo de sobrecalentamiento. La corriente permanece en rangos estables entre 1.48 A y 1.51 A, indicando una carga constante y eficiente sin señales de sobrecarga o inestabilidad eléctrica. Por su parte, el voltaje oscila ligeramente entre 218 V y 223 V, lo cual se encuentra dentro del rango aceptable para la operación de motores en baja tensión. En conjunto, los resultados confirman un funcionamiento correcto del sistema, con buena respuesta térmica y eléctrica, validando tanto la fiabilidad de los sensores utilizados como la eficacia del ESP32 para la adquisición y transmisión de datos a la plataforma ThingSpeak.

Tabla 8*Tabla general de los datos obtenidos*

Prueba	Rango de Temperatura (°C)	Rango de Corriente (A)	Rango de Voltaje (V)	Interpretación Técnica
Prueba 1	26.0 – 28.0	1.48 – 1.51	220 – 223	La temperatura muestra un incremento progresivo típico del arranque inicial del motor. La corriente permanece estable sin signos de sobrecarga. El voltaje se mantiene dentro del margen de tolerancia de la red, lo cual indica una alimentación adecuada.
Prueba 2	28.0 – 30.2	1.48 – 1.50	218 – 223	Bajo operación continua, la temperatura aumenta de forma esperada sin sobrecalentamientos. La corriente se mantiene constante, lo que indica una carga eléctrica regular. Pequeñas caídas de voltaje no afectan el rendimiento del motor.
Prueba 3	30.5 – 32.6	1.48 – 1.50	219 – 222	El motor opera en régimen prolongado con disipación térmica adecuada. La corriente estable refleja buena eficiencia operativa. El voltaje presenta pequeñas oscilaciones, pero se estabiliza dentro de rangos seguros.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 18 se muestra al prototipo desarrollado del sistema de monitoreo de variables eléctricas y térmicas de un motor monofásico, diseñado para recolectar, procesar y transmitir datos en tiempo real mediante una plataforma IoT (ThingSpeak), su estructura integra un microcontrolador ESP32, el cual actúa como unidad central de adquisición y comunicación, junto con tres sensores analógicos encargados de medir temperatura, corriente y voltaje: el LM35 para temperatura, el ACS712 para corriente, y el ZMPT101B para voltaje.

Diseño en físico del prototipo electrónico



51

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE COSTO Y BENEFICIO

4.1. ANÁLISIS DE COSTOS

En la Tabla 9 se muestra la inversión respecto al prototipo de sistema de monitoreo estuvo dada por los materiales e instrumentos empleados siendo un total de S/ 3 796.00.

Tabla 9.

Inversión del prototipo

Ítem	Cantidad (und)	Precio	Total
Motor monofásico de ½ hp	1	S/160.00	S/160.00
Esp-32	1	S/65.00	S/65.00
Laptop	1	S/3,500.00	S/3,500.00
Adaptador para módulo bornera	1	S/15.00	S/15.00
Sensor de voltaje	1	S/32.00	S/32.00
Sensor de corriente	1	S/16.00	S/16.00
Sensor de temperatura	1	S/8.00	S/8.00
TOTAL	7		S/3,796.00

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 10 se visualiza la inversión respecto a la capacitación estuvo dada por Capacitación en los Sistemas de Monitoreo y la Capacitación en el funcionamiento del prototipo siendo un total de S/300.00.

Tabla 10.

Capacitaciones

Ítem	Cantidad (und)	Precio	Total
Capacitación en los Sistemas de Monitoreo	1	S/150.00	S/150.00
Capacitación en el funcionamiento del prototipo	1	S/150.00	S/150.00
TOTAL	2		S/300.00

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la Tabla 11 se muestra los gastos anuales del prototipo de sistema de monitoreo estuvieron dados por los útiles de oficina siendo un total de S/505 y una suma total de repuestos de S/3 796.00.

Tabla 11.

Gastos anuales

Etapas	Ítem	Cantidad (und)	Precio	Sub total	Total
Gastos anuales	Paquete de Hojas Bond	1	S/15.00	S/15.00	
	Útiles de oficina				
	Tinta de impresora	4	S/120.00	S/480.00	S/505.00
	Archivadores	4	S/1.50	S/6.00	
	Bolígrafos	4	S/1.00	S/4.00	
	Motor monofásico de ½ hp	1	S/160.00	S/160.00	
	Esp-32	1	S/65.00	S/65.00	
	Laptop	1	S/3,500.00	S/3,500.00	
	Repuestos				
	Adaptador para módulo bornera	1	S/15.00	S/15.00	S/3,796.00
	Sensor de voltaje	1	S/32.00	S/32.00	
	Sensor de corriente	1	S/16.00	S/16.00	
	Sensor de temperatura	1	S/8.00	S/8.00	
Total					S/4,301.00

Fuente: Elaboración propia

Además, en la Tabla 12 se muestra la depreciación de los equipos tangibles asciende a S/2 280,00.

Tabla 12.
Depreciación

Descripción	Activos Total	Unidades	Valor Por Depreciar	Años Por Depreciar	Depreciación anual
Motor monofásico de ½ hp	S/160.00	1	S/160.00	5	S/32.00
Esp-32	S/65.00	1	S/65.00	5	S/13.00
Laptop	S/3,500.00	1	S/3,500.00	5	S/700.00
Adaptador para módulo bornera	S/15.00	1	S/15.00	5	S/3.00
Sensor de voltaje	S/32.00	1	S/32.00	5	S/6.40
Sensor de corriente	S/16.00	1	S/16.00	5	S/3.20
Sensor de temperatura	S/8.00	1	S/8.00	5	S/1.60
Total					S/759.20

Fuente: Elaboración propia

4.2. ANÁLISIS DE BENEFICIOS

Los beneficios que se estiman tras la realización del prototipo de sistema de monitoreo es la reducción de al menos el 10% de las horas paradas de la máquina centrífuga en la línea de lavado y secado, se sabe que tras el análisis del indicadores (MTTR, MTBF y disponibilidad) realizado anteriormente se tiene que las horas paradas durante un año son de 310 horas, el 10% de ello sería 31 horas, si la maquina no presentaras fallas en estas horas se tendría un beneficio económico de aproximadamente 60 000 soles. Cabe resaltar que al día se gana 18 750 soles trabajando la maquina centrífuga 8 horas (Anexo 06).

4.3. BENEFICIO - COSTO

En la Tabla 13 se muestra el flujo de caja del prototipo de sistema de monitoreo, dado por la inversión, los egresos e ingresos siendo así viable económicamente por un VAN positivo de S/ 137 557.30, un B/C de 11.86, es decir que por cada sol invertido se obtiene una ganancia de 10.86 soles.

Tabla 13.

Flujo de caja

AÑO	0	1	2	3	4	5
Inversión						
Intangible	S/300.00					
Tangible	S/3,796.00					
Total, INVERSIÓN	S/4,096.00					
Beneficios						
		S/60,000.00	S/60,000.00	S/60,000.00	S/60,000.00	S/60,000.00
		S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00
		S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00
Total, BENEFICIOS	S/	- S/60,000.00	S/60,000.00	S/60,000.00	S/60,000.00	S/60,000.00
Egresos						
Gastos anuales		S/4,301.00	S/4,301.00	S/4,301.00	S/4,301.00	S/4,301.00
Depreciación		S/759.20	S/759.20	S/759.20	S/759.20	S/759.20
Total, EGRESOS	S/4,096.00	S/5,060.20	S/5,060.20	S/5,060.20	S/5,060.20	S/5,060.20
Utilidad antes de impuestos		S/54,939.80	S/54,939.80	S/54,939.80	S/54,939.80	S/54,939.80
Impuestos (29.5%)		S/16,207.24	S/16,207.24	S/16,207.24	S/16,207.24	S/16,207.24
Flujo de caja	-S/4,096.00	S/38,732.56	S/38,732.56	S/38,732.56	S/38,732.56	S/38,732.56
Utilidad acumulada	-S/4,096.00	S/34,636.56	S/73,369.12	S/112,101.68	S/150,834.24	S/189,566.80
Valor actual neto (VAN)	S/137,557.30					
COK	11.42%					
B/C	11.86					
P.R	7 meses 18 días					

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

El análisis de la situación actual del mantenimiento de la máquina centrífuga evidenció que la causa con mayor prioridad para intervenir en el proceso de mantenimiento del centrifugado es la falta de sistema de monitoreo y alerta temprana de fallas, con un puntaje total de 15, lo que evidencia su alta incidencia, frecuencia y necesidad de intervención.

El diseño de sistema de monitoreo inalámbrico empleó el módulo ESP32, referente a la medición de temperatura se empleó el sensor LM35, para la corriente se empleó el sensor ACS712 y para el voltaje se utilizó el sensor ZMPT101B, los cuales en conjunto tuvieron un funcionamiento óptimo.

El sistema de transmisión y visualización de datos se realizó en la plataforma ThingSpeak en donde se obtuvieron los datos de estado en tiempo real, a su vez se empleó el protocolo HTTP para una mejor eficiencia.

La validación del sistema de monitoreo inalámbrico mediante tres pruebas indicó un incremento controlado de la temperatura, la corriente permaneció en rangos estables entre 1.48 A y 1.51 A, el voltaje oscila ligeramente entre 218 V y 223 V, lo cual se encuentra dentro del rango aceptable para la operación de motores.

RECOMENDACIONES

Implementar un sistema de registro de fallas y tiempos de operación automático en el ESP32 mediante una base de datos local para mejorar el cálculo del retorno de inversión (ROI) en tiempo real, con datos operativos precisos y trazabilidad de eventos.

Considerar en futuras versiones la inclusión de sensores industriales con certificación de precisión y mayor inmunidad al ruido eléctrico, con el fin de robustecer el sistema frente a condiciones más exigentes del entorno operativo.

Optimizar el sistema de transmisión migrando a protocolos más eficientes como MQTT, especialmente diseñados para IoT, y evaluar plataformas con capacidades avanzadas de visualización, almacenamiento local y emisión de alertas automáticas ante fallas inminentes.

Ampliar el análisis de causas priorizadas incluyendo un enfoque multifactorial, integrando variables como el tiempo de inactividad, costos de reparación y frecuencia de intervención, para establecer un sistema de mantenimiento más integral y jerarquizado.

GLOSARIO

- **Variable de entrada:** la variable de sistema que puede modificar su estado mediante un cambio en su magnitud o condición.
- **Variable de salida:** la variable del sistema que se mide en función de su magnitud o condición.
- **Perturbación:** una señal que tiene la capacidad de influir en el valor de la salida de un sistema. Si esta señal se origina dentro del sistema, se le llama interna, pero si proviene del exterior, se considera una entrada externa.
- **Sensores:** herramientas que identifican y contestan a algún tipo de información de un entorno físico.

REFERENCIAS

- Abdulwahhab, A. W. (2022). Power consumption management in hybrid optical – Wireless access network. *Optical Fiber Technology*, 70, 102882. <https://doi.org/10.1016/j.yofte.2022.102882>
- Aldawsari, H. (2025). A blockchain-based approach for secure energy-efficient IoT-based Wireless Sensor Networks for smart cities. *Alexandria Engineering Journal*, 126, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2025.04.052>
- Ali, A., Shaukat, H., Elahi, H., Taimur, S., Manan, M. Q., Altabey, W. A., Kouritem, S. A., & Noori, M. (2025). Advancements in energy harvesting techniques for sustainable IoT devices. *Results in Engineering*, 26, 104820. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104820>
- Ayaque Aguirre, A. I. (2023). *Diseño de un sistema vestible de monitoreo a distancia de temperatura y frecuencia cardíaca para la detección de arritmias y distermias*. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/26569>
- Bafandegan Emroozi, V., Kazemi, M., & Doostparast, M. (2025). Enhancing industrial maintenance planning: Optimization of human error reduction and spare parts management. *Operations Research Perspectives*, 14, 100336. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2025.100336>
- Bezek, L. B., Pan, J., Harb, C., Zawaski, C. E., Molla, B., Kubalak, J. R., Marr, L. C., & Williams, C. B. (2021). Additively manufactured respirators: Quantifying particle transmission and identifying system-level challenges for improving filtration efficiency. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 762-773. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.01.002>

- Cámara de Comercio de Lima. (2021). *Informe del sector de servicios industriales en Lima Metropolitana*. <https://www.camaralima.org.pe/wp-content/uploads/2024/04/MEMORIA-ANUAL-2023-2024-WEB-FINAL.pdf>
- Deloitte. (2022). Predictive Maintenance Solutions. *Deloitte United States*. <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/operations/articles/predictive-maintenance-and-the-smart-factory.html>
- Duran-Aquino, R. C., Barnett, N. A. R., & Huaman, H. J. R. (2024). Diseño de un sistema de monitoreo de salud para astronautas basado en inteligencia artificial. *Revista Científica de Ingeniería, Diseño y Arquitectura Contemporánea*, 1(2). <https://doi.org/10.37711/idac.2024.1.2.4>
- Faheem, M., Butt, R. A., Ali, R., Raza, B., Ngadi, Md. A., & Gungor, V. C. (2021). CBI4.0: A cross-layer approach for big data gathering for active monitoring and maintenance in the manufacturing industry 4.0. *Journal of Industrial Information Integration*, 24, 100236. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100236>
- Folgado, F. J., González, I., & Calderón, A. J. (2023). Data acquisition and monitoring system framed in Industrial Internet of Things for PEM hydrogen generators. *Internet of Things*, 22, 100795. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100795>
- Frost, & Sullivan. (2021). Market Research Reports. Industry Research Reports. Frost & Sullivan. *Store.Frost.Com*. <https://store.frost.com/>
- Gómez, G., & Adrián, N. (2021). *Diseño de un sistema de monitoreo de un prototipo de máquina industrial, para la presentación de datos en tiempo real con recursos de la nube de IBM en Colombia*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/40547>

Hernandez, V. (2020). Red de sensores inalámbricos para mantenimiento predictivo
PdM E-2019. 2020.

<http://infotec.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1027/400>

INEI. (2023). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*.
<https://m.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/boletines/demografia-empresarial-8237/1/#lista>

Interempresas. (2024a). *Mantenimiento predictivo con IA, máxima eficiencia y ahorro para el sector industrial*.
<https://www.interempresas.net/Mantenimiento/Articulos/565014-Mantenimiento-predictivo-con-IA-maxima-eficiencia-y-ahorro-para-el-sector-industrial.html>

Interempresas. (2024b). *Mantenimiento predictivo con IA, máxima eficiencia y ahorro para el sector industrial*.
<https://www.interempresas.net/Mantenimiento/Articulos/565014-Mantenimiento-predictivo-con-IA-maxima-eficiencia-y-ahorro-para-el-sector-industrial.html>

IoT-CDS: Internet of Things Cyberattack Detecting System Based on Deep Learning Models. (2024). *Computers, Materials and Continua*, 81(3), 4265-4283.
<https://doi.org/10.32604/cmc.2024.059271>

Karabağ, O., Eruguz, A. S., & Basten, R. (2020). Integrated optimization of maintenance interventions and spare part selection for a partially observable multi-component system. *Reliability Engineering & System Safety*, 200, 106955. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106955>

- Ministerio de Producción. (2022). *Las MIPYME en cifras 2022*.
<https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oe-documentos-publicaciones/publicaciones-anuales/item/1170-las-mipyme-en-cifras-2022>
- Pagare, R. A., Mishra, A., & Kumar, S. (2022). Analytical modeling and impact analysis on multichannel symmetric optical and wireless NG-PON2 networks of CD, SPM, XPM and FWM impairments. *Optik*, 252, 168573.
<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.168573>
- Pincirolì, L., Baraldi, P., & Zio, E. (2023). Maintenance optimization in industry 4.0. *Reliability Engineering & System Safety*, 234, 109204.
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109204>
- Polverino, L., Abbate, R., Manco, P., Perfetto, D., Caputo, F., Macchiaroli, R., & Caterino, M. (2023). Machine learning for prognostics and health management of industrial mechanical systems and equipment: A systematic literature review. *International Journal of Engineering Business Management*, 15, 18479790231186848. <https://doi.org/10.1177/18479790231186848>
- Pontarolli, R. P., Bigheti, J. A., Domingues, F. O., de Sá, L. B. R., & Godoy, E. P. (2022). Distributed I/O as a service: A data acquisition solution to Industry 4.0. *HardwareX*, 12, e00355. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2022.e00355>
- Pozo, J. (2021). *Diseño de un sistema de monitoreo para un invernadero experimental basado en una red de sensores*.
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/19099>
- Rodríguez, P. (2021). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para una máquina universal de ensayos*.
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/18297>

- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 3, 192-204. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.04.006>
- Sulakshana, G., & Kamatam, G. R. (2023). Data accumulation in WSNs using a mobile sink: A linear programming approach. *Measurement: Sensors*, 27, 100743. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100743>
- Ticnus. (2024). *Optimización del IoT en la Monitorización de la Salud Ocupacional: Innovaciones y Beneficios - TICNUS Technology Magazine*. <https://ticnus.com/noticias/iot-internet-de-las-cosas/optimizacion-del-iot-en-la-monitorizacion-de-la-salud-ocupacional-innovaciones-y-beneficios/>
- True Energy. (2025). *Manual de Máquina Centrífuga*. <https://www.truecorpgt.com/>
- UDAX. (2023). La relevancia del mantenimiento predictivo en la industria moderna. *Revista Digital Experiencia*. https://udax.edu.mx/experiencia/industria/la-relevancia-del-mantenimiento-predictivo-en-la-industria-moderna?utm_source=chatgpt.com
- Vera Villanueva, C. A. (2021). Diseño de un sistema de contenedores inteligentes para mejorar la recolección de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de San Martín de Porres [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Redes y Comunicaciones, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPu. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/656265>
- Zarria Totoy, E. V., y Solís, R. (2025). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto IoT de parámetros para un sistema fotovoltaico aislado*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/66050>

Zheng, H., Paiva, A. R., & Gurciullo, C. S. (2020). *Advancing from Predictive Maintenance to Intelligent Maintenance with AI and IIoT*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2009.00351>

Zonta, T., da Costa, C. A., da Rosa Righi, R., de Lima, M. J., da Trindade, E. S., & Li, G. P. (2020). Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 150, 106889.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106889>

ANEXO

Anexo 01: Matriz de Investigación

PROBLEMÁTICA	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO GENERAL	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACCIONES	MARCO TEÓRICO	DESARROLLO	EVALUACIÓN	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
En la actualidad, las industrias de servicios de lavandería enfrentan desafíos significativos en términos de eficiencia operativa y mantenimiento de maquinaria, especialmente en procesos críticos como el centrifugado dentro de la línea de lavado-secado. A nivel internacional, el mercado de lavandería industrial ha mostrado un crecimiento sostenido. En ese sentido, Deloitte (2022) destaca que las organizaciones que implementan soluciones de IoT industrial pueden reducir en un 25% los costos de mantenimiento, al mismo tiempo que disminuyen hasta en un 50% el tiempo de inactividad no planificado, lo que repercute positivamente en la eficiencia del proceso productivo.	¿Como diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico para mejorar el mantenimiento del proceso de centrifugado de la línea de lavado-secado en la empresa ARGU'S Service S.R.L.?	Diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico para mejorar el mantenimiento del proceso de centrifugado de la línea de lavado-secado en la empresa ARGU'S Service S.R.L.	¿Cuál es la situación actual de mantenimiento de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado?	Analizar la situación actual de mantenimiento de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado.	Identificar cuáles son los factores ligados al mantenimiento de la máquina centrífuga que causan las fallas	Sistema de Monitoreo	Se emplearon indicadores de mantenimiento, para comprender los modos de falla recurrentes permitiendo identificar los factores que causan las fallas en la máquina centrífuga.	Evaluación técnica y económica del proyecto desarrollado se realizó mediante el Valor Actual Neto junto con el Beneficio - Costo	El análisis de la situación actual del mantenimiento de la máquina centrífuga evidenció que la causa con mayor prioridad para intervenir en el proceso de mantenimiento del centrifugado es la falta de sistema de monitoreo y alerta temprana de fallas, con un puntaje total de 15, lo que evidencia su alta incidencia, frecuencia y necesidad de intervención.	Ampliar el análisis de causas priorizadas incluyendo un enfoque multifactorial, integrando variables como el tiempo de inactividad, costos de reparación y frecuencia de intervención, para establecer un sistema de mantenimiento más integral y jerarquizado.
			¿Cómo diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico con sensores de manera que se pueda verificar el estado de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado?	Diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico con sensores de manera que se pueda verificar el estado de la máquina de centrifugado en la línea de lavado-secado.	Determinar los sensores disponibles en el mercado, compararlos técnicamente y emplearlos en el diseño del sistema de monitoreo	Mantenimiento	Se aplicaron principios de instrumentación, donde se evaluaron características como precisión, rango, sensibilidad, tipo de señal y compatibilidad con sistemas inalámbricos.		El diseño de sistema de monitoreo inalámbrico empleó el módulo ESP32, referente a la medición de temperatura se empleó el sensor LM35, para la corriente se empleó el sensor ACS712 y para el voltaje se utilizó el sensor ZMPT101B, seleccionados a través de sus características técnicas.	Considerar en futuras versiones la inclusión de sensores industriales con certificación de precisión y mayor inmunidad al ruido eléctrico, con el fin de robustecer el sistema frente a condiciones más exigentes del entorno operativo.
			¿Cómo diseñar un sistema de transmisión y visualización de datos para obtener los datos de estado en la máquina de centrifugado a través de un servidor remoto con visualización en tiempo real?	Diseñar un sistema de transmisión y visualización de datos para obtener los datos de estado en la máquina de centrifugado a través de un servidor remoto con visualización en tiempo real.	Identificar el entorno de visualización de los datos en tiempo real y el protocolo de transmisión de datos	Red de sensores Inalámbricos	Se utilizaron conceptos de IoT (Internet de las Cosas), incluyendo protocolos de comunicación como HTTP, y plataformas de visualización como ThingSpeak, se consideró la arquitectura cliente-servidor para la transmisión eficiente de datos en tiempo real.		El sistema de transmisión y visualización de datos se realizó en la plataforma ThingSpeak en donde se obtuvieron los datos de estado en tiempo real, a su vez se empleó el protocolo HTTP para una mejor eficiencia.	Optimizar el sistema de transmisión migrando a protocolos más eficientes como MQTT, especialmente diseñados para IoT, y evaluar plataformas con capacidades avanzadas de visualización, almacenamiento local y emisión de alertas automáticas ante fallas inminentes.
			¿De qué manera implementar y validar el sistema de monitoreo inalámbrico de la máquina de centrifugado mediante un prototipo?	Implementar y validar el sistema de monitoreo inalámbrico de la máquina de centrifugado mediante un prototipo.	Obtener los resultados realizados en las pruebas de funcionamiento del prototipo de sistema de monitoreo inalámbrico	Internet de la Cosas (IoT)	Se basó en la metodología experimental y de validación de prototipos, evaluando el sistema mediante pruebas en condiciones reales, midiendo su respuesta, estabilidad y precisión, validando si los datos recolectados eran fiables y útiles para el diagnóstico.		La validación del sistema de monitoreo inalámbrico mediante tres pruebas indicó un incremento controlado de la temperatura, la corriente permaneció en rangos estables entre 1.48 A y 1.51 A, el voltaje oscila ligeramente entre 218 V y 223 V, lo cual se encuentra dentro del rango aceptable para la operación de motores.	Implementar un sistema de registro de fallas y tiempos de operación automático en el ESP32 mediante una base de datos local para mejorar el cálculo del retorno de inversión (ROI) en tiempo real, con datos operativos precisos y trazabilidad de eventos.
						Modulo ESP32				
						Microcontroladores				
						Base de Datos				

Anexo 02: Libro de incidencias de fallas

Nº	Fecha de Registro	Causa Identificada	Descripción Ampliada	Incidencias Reales o Potenciales	Justificación del Impacto, Frecuencia e Intervención
1	05/07/2024	Falta de sistema de monitoreo y alerta temprana de fallas	No se cuenta con sensores o software que detecten anomalías en etapas iniciales.	Paradas no programadas por fallas en motor o sistemas hidráulicos.	Impacto (5): Las fallas no detectadas generan interrupciones mayores. Frecuencia (5): Es recurrente por la falta de tecnología. Intervención (5): Alta necesidad de inversión e implementación.
2	15/07/2024	Fallas imprevistas no detectadas a tiempo	Averías que ocurren sin señales previas perceptibles por operadores.	Daños súbitos en transmisiones o ejes.	Impacto (4): Detiene operaciones. Frecuencia (4): Ocurre con regularidad. Intervención (4): Requiere sistemas predictivos.
3	25/07/2024	Ausencia de datos en tiempo real	No se dispone de visualización o registro continuo del estado del equipo.	Retardos en la respuesta ante temperaturas o presiones fuera de rango.	Impacto (4): Se pierden oportunidades de respuesta. Frecuencia (3): Falta de conectividad y sensores. Intervención (3): Necesaria integración digital.
4	10/08/2024	Equipos de centrifugado obsoletos	Máquinas antiguas sin posibilidad de mejora.	Fallas por sobrecalentamiento, mal balance o desgaste estructural.	Impacto (3): Compromete seguridad y calidad. Frecuencia (4): Común en entornos con infraestructura antigua. Intervención (3): Requiere reemplazo progresivo.
5	20/08/2024	Falta de protocolos de monitoreo	No hay una rutina estandarizada de inspección o verificación.	Detección tardía de desgastes en rodamientos o fugas hidráulicas.	Impacto (3): Permite que las fallas avancen. Frecuencia (3): Deriva del manejo informal del mantenimiento. Intervención (3): Mejora con procedimientos definidos.
6	01/09/2024	Personal no capacitado en mantenimiento predictivo	Técnicos carecen de conocimientos en técnicas de análisis predictivo.	Interpretación incorrecta de datos de vibración o termografía.	Impacto (3): Genera intervenciones ineficaces. Frecuencia (3): Capacitación insuficiente. Intervención (3): Se requiere entrenamiento estructurado.

Nº	Fecha de Registro	Causa Identificada	Descripción Ampliada	Incidencias Reales o Potenciales	Justificación del Impacto, Frecuencia e Intervención
7	12/09/2024	Repuestos no disponibles a tiempo	Dificultades logísticas o de planificación de stock.	Tiempos muertos por falta de componentes críticos.	Impacto (3): Aumenta el tiempo de parada. Frecuencia (2): No siempre ocurre, pero es significativo. Intervención (2): Requiere mejor gestión de inventario.
8	25/09/2024	Componentes de baja calidad en reparaciones	Se utilizan repuestos genéricos o reacondicionados sin estándares.	Vida útil reducida de piezas, repetición de fallas.	Impacto (2): Degrada rendimiento. Frecuencia (3): Común por reducir costos. Intervención (2): Mejora con control de calidad.
9	10/10/2024	No hay indicadores de desempeño del equipo	Falta de KPIs como MTBF, disponibilidad, eficiencia energética.	Dificultad para priorizar mantenimiento o detectar patrones.	Impacto (2): Debilita la gestión estratégica. Frecuencia (2): Recurrente en sistemas manuales. Intervención (2): Requiere sistema de métricas.
10	20/10/2024	Humedad y polvo afectan los sensores	Condiciones ambientales alteran el funcionamiento de sensores.	Lecturas erráticas o fallas por corrosión.	Impacto (2): Afecta precisión de monitoreo. Frecuencia (2): Depende del entorno. Intervención (2): Mejora con encapsulado y limpieza.
11	01/11/2024	Vibraciones externas influyen en el rendimiento	Golpes, desbalance o mala instalación causan vibraciones anómalas.	Daños a ejes, motores, conexiones flojas.	Impacto (2): Degrada condiciones de operación. Frecuencia (2): Eventual, pero crítica si no se corrige. Intervención (2): Requiere análisis modal o balanceo.
12	15/11/2024	Procedimientos manuales e ineficientes	Dependencia de anotaciones y decisiones humanas sin automatización.	Registros incompletos o erróneos.	Impacto (2): Baja trazabilidad. Frecuencia (3): Aún común en sistemas tradicionales. Intervención (2): Automatización recomendada.

Nº	Fecha de Registro	Causa Identificada	Descripción Ampliada	Incidencias Reales o Potenciales	Justificación del Impacto, Frecuencia e Intervención
13	05/12/2024	Errores humanos en el diagnóstico	Fallas en la interpretación de síntomas por parte del personal.	Reemplazos innecesarios o retrasos en reparación.	Impacto (1): Generalmente menor. Frecuencia (2): Ocasional. Intervención (2): Mejora con capacitación y apoyo digital.

Anexo 03: Programación completa

```
1
2 #include <WiFi.h>
3 #include "ThingSpeak.h"
4
5 const char* ssid = "TU_SSID";
6 const char* password = "TU_PASSWORD";
7
8 const char* apiKey = "TU_API_KEY"; // API Write Key de ThingSpeak
9 const int channelNumber = TU_CHANNEL_ID;
10
11 WiFiClient client;
12
13 const int pinTemp = 34; // Ej. LM35 en GPIO34
14 const int pinCorriente = 35; // Ej. ACS712 en GPIO35
15 const int pinVoltaje = 32; // Ej. ZMPT101B en GPIO32
16
17 float leerTemperatura() {
18     int lectura = analogRead(pinTemp);
19     float voltaje = lectura * 3.3 / 4095.0;
20     float tempC = voltaje * 100.0; // LM35: 10mV/°C
21     return tempC;
22 }
23
24 float leerCorriente() {
25     int lectura = analogRead(pinCorriente);
26     float voltaje = lectura * 3.3 / 4095.0;
27     float corriente = (voltaje - 2.5) / 0.185; // ACS712 5A: 185mV/A
28     return corriente;
29 }
30
31 float leerVoltaje() {
32     int lectura = analogRead(pinVoltaje);
33     float voltaje = lectura * 3.3 / 4095.0;
34     float Ventrada = voltaje * 100; // Depende del divisor resistivo
35     return Ventrada;
36 }
37
38
39 void setup() {
40     Serial.begin(115200);
41     WiFi.begin(ssid, password);
42     Serial.print("Conectando a WiFi");
43     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
44         delay(1000);
45         Serial.print(".");
46     }
47     Serial.println("\nConectado a WiFi");
48
49     ThingSpeak.begin(client);
```

```

50 }
51
52 void loop() {
53     float temp = leerTemperatura();
54     float corriente = leerCorriente();
55     float voltaje = leerVoltaje();
56
57     Serial.println("Enviando datos a ThingSpeak...");
58     Serial.printf("Temp: %.2f C | Corriente: %.2f A | Voltaje: %.2f V\n", temp, corriente,
59
60     ThingSpeak.setField(1, temp);
61     ThingSpeak.setField(2, corriente);
62     ThingSpeak.setField(3, voltaje);

63
64     int x = ThingSpeak.writeFields(channelNumber, apiKey);
65     if (x == 200) {
66         Serial.println("Datos enviados correctamente.");
67     } else {
68         Serial.printf("Error al enviar datos. Código: %d\n", x);
69     }
70
71     delay(20000); // Esperar 20 segundos (mínimo para cuentas gratis de ThingSpeak)
72 }
73
74

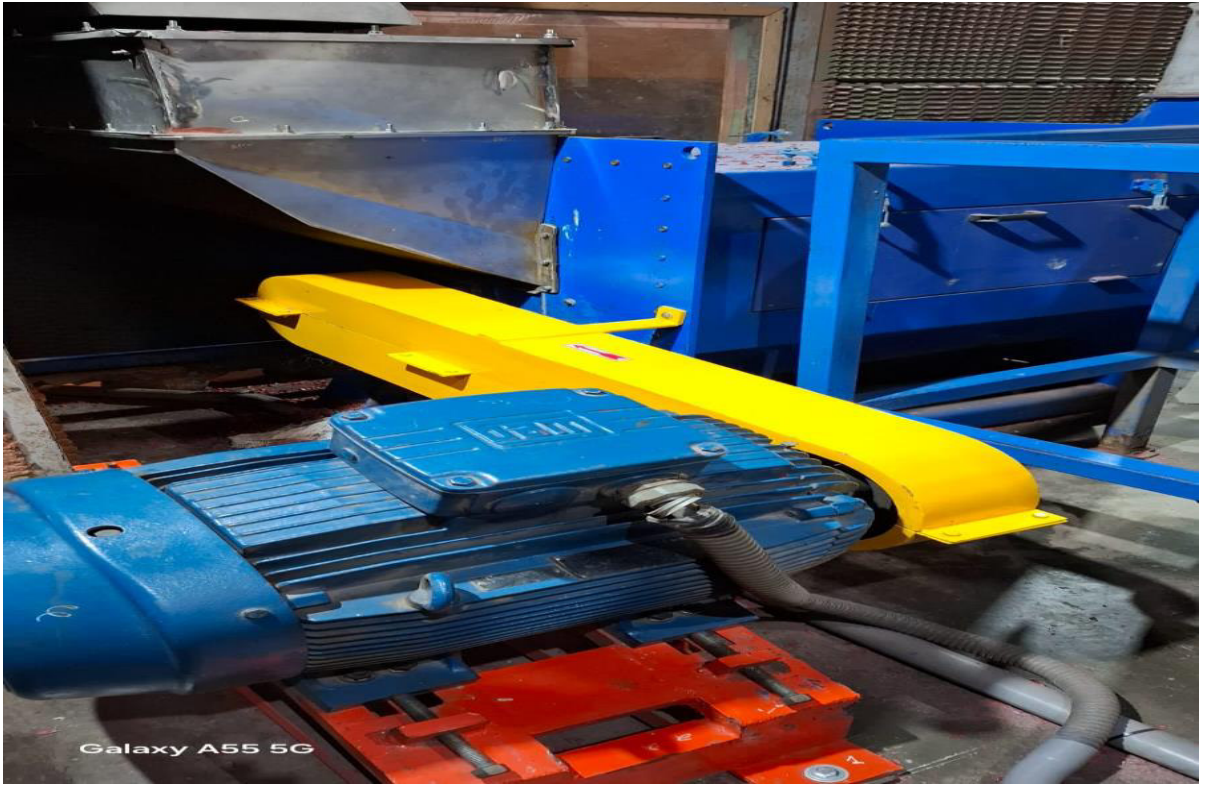
```

Anexo 04: Fotos de Evidencia



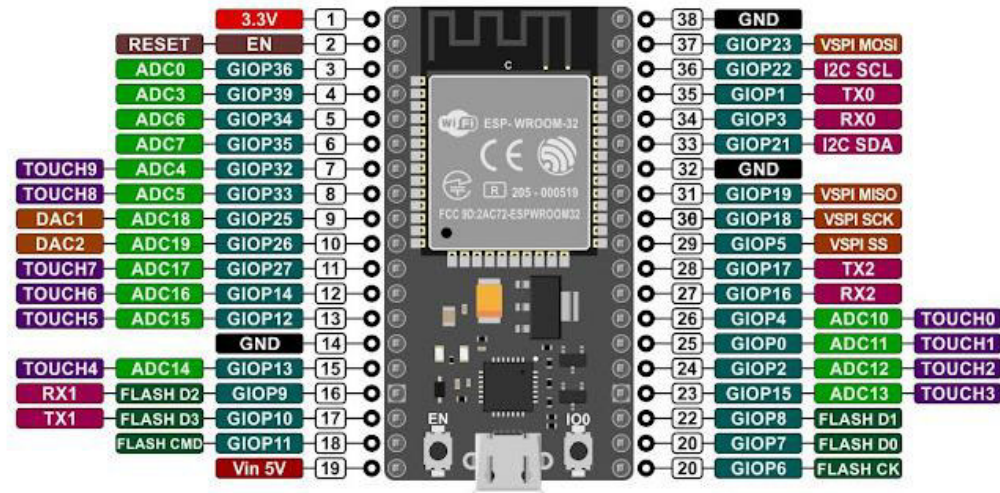






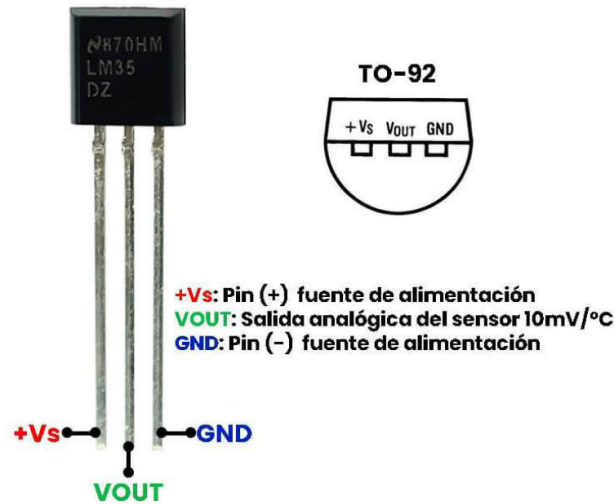
Anexo 05: Fichas Técnicas de los componentes

Módulo ESP32 (ESP-WROOM-32):



- 240 MHz dual core Tensilica LX6 microcontroller with 600 DMIPS
- Integrated 520 KB SRAM
- Integrated 802.11b/g/n HT40 Wi-Fi transceiver, baseband, stack and LWIP
- Integrated dual mode Bluetooth (classic and BLE)
- 4 MByte flash include in the WROOM32 module
- On-board PCB antenna
- Ultra-low noise analog amplifier
- Hall sensor
- 10x capacitive touch interface
- 32 kHz crystal oscillator
- 3 x UARTs (only two are configured by default in the Feather Arduino IDE support, one UART is used for bootloading/debug)
- 3 x SPI (only one is configured by default in the Feather Arduino IDE support)
- 2 x I2C (only one is configured by default in the Feather Arduino IDE support)
- 12 x ADC input channels
- 2 x I2S Audio
- 2 x DAC
- PWM/timer input/output available on every GPIO pin
- OpenOCD debug interface with 32 kB TRAX buffer
- SDIO master/slave 50 MHz
- SD-card interface support

PINOUT LM35 Sensor de Temperatura

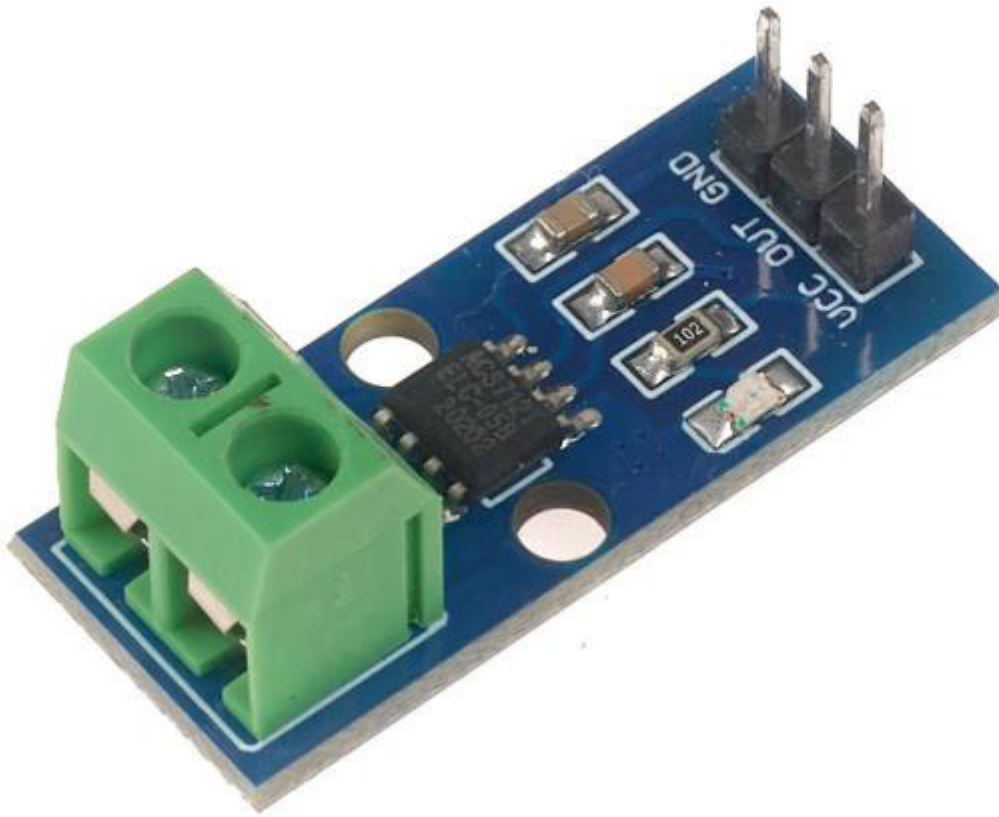


ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS

- Modelo: LM35
- Encapsulado: TO-92
- Pines: 3
- Montaje: Through Hole Technology (THT)
- Voltaje de Operación: 4 a 30 V (5V Recomendado)
- Rango de medición: -55°C a +150°C
- Precisión en el rango de -10°C hasta +85°C: $\pm 0.5^\circ\text{C}$
- Pendiente: 10mV/°C
- Bajo consumo energético: 60uA
- No necesita componentes adicionales
- Baja impedancia de salida
- Peso: 0.24 g

Pines:

1. **+VCC**: Pin (+) Conexión a fuente de alimentación
2. **VOUT**: Salida analógica del sensor
3. **GND**: Pin (-) Conexión a GND o Tierra de la fuente de alimentación



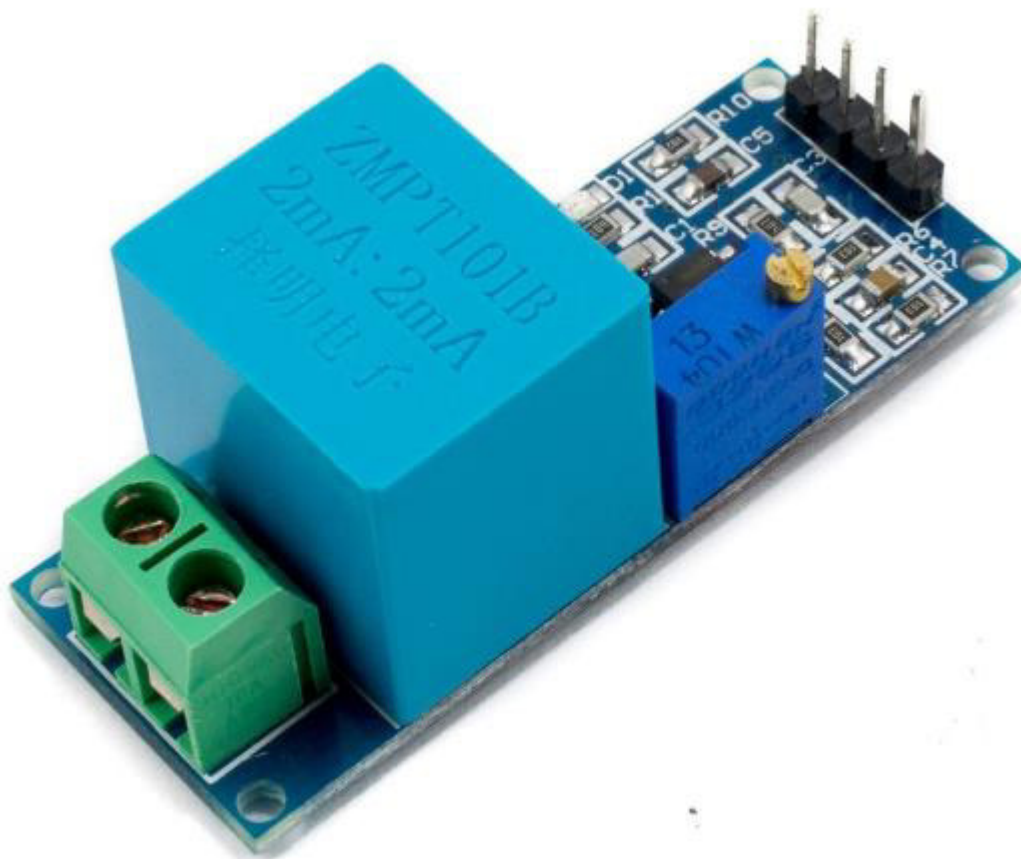
INFO

El Sensor de Corriente ACS712T-5A permite medir corriente DC o AC de hasta +5A utilizando el efecto Hall. A diferencia de las mediciones de corriente con resistencias Shunt, en los sensores por efecto Hall la carga está aislada del sensor, esto es útil en sistemas donde se requiere de aislamiento eléctrico además de no disipar energía (pérdidas por efecto Joule). Muy útil para medir corriente en fuentes de alimentación, baterías, motores, actuadores, etc.

Utilizar el sensor es muy sencillo, primero debemos conectar el conductor de corriente en las borneras, se debe cortar el conductor y conectar cada extremo en la bornera, luego necesitamos alimentar el módulo por los pines VCC(5V) y GND. El módulo posee una salida analógica (OUT) que entrega un voltaje analógico proporcional a la corriente medida, por ejemplo cuando la corriente a medir es 0A el voltaje de salida es 2.5V, cuando la corriente es 5A el voltaje de salida es 3.425V y cuando la corriente es -5A el voltaje será 1.575V. La salida analógica puede ser conectado a una entrada ADC de un microcontrolador como Arduino o PIC y utilizar la fórmula: $I = (A_{out} - 2.5) * 5.405$ para obtener el dato de corriente medida.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Voltaje de alimentación: 5 VDC
- Voltaje de salida proporcional a la corriente AC y DC
- Rango de sensado de corriente: -5A a +5A
- Rango de salida analógica: 1.575V a 3.425V (proporcional a la corriente a medir)
- Sensibilidad: 185 mV/A
- Señal analógica de bajo ruido
- Ancho de banda configurable mediante el pin FILTER
- Tiempo de respuesta de la salida: 5us
- Ancho de banda máximo: 80kHz
- Error: $\pm 1.5\%$ (@25 °C) ajustado en fábrica
- Resistencia del conductor: 1.2mOhm
- Offset de salida sumamente estable (2.5V)
- Histéresis magnética próxima a cero
- Salida ratiométrica contra la tensión de alimentación
- Dimensiones: 32*13*14 mm (l*a*h)
- Peso: 3.9 gramos



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Voltaje de alimentación(VCC): 3.3V - 5V DC
- Rango de sensado de Voltaje AC: 250VAC RMS máx.
- Rango de Salida Voltaje AC: Onda senoidal 5VAC máx (amplitud configurable en potenciómetro)
- Voltaje de desplazamiento de salida (offset): $VCC/2$ (2.5V para VCC:5V, 1.65V para VCC:3.3V)
- Señal de salida: analógica senoidal
- Dimensiones: 50*20*24 mm
- Peso: 21 gramos
- Propiedades del transformador ZMPT101B:
- Corriente nominal de entrada y salida: 2mA
- Ratio entrada-salida 1000:1000
- Diferencia de fase: $<30^\circ$ (a 50ohm)
- Rango lineal: 0-3mA (a 50ohm)
- Linealidad: 1%
- Precisión: 0.2%
- Aislamiento eléctrico entrada: hasta 3000V

CONEXIÓN

- **VCC:** 3.3-5.0 VDC
- **OUT:** Onda senoidal proporcional a la entrada de voltaje AC, amplitud configurable en potenciómetro, offset: $VCC/2$.
- **GND:** 0V
- **GND:** 0V

Anexo 06: Factura de mes de junio



INDUSTRIAS DEL ENVASE S.A.
 Av. ELMER FAUCETT
 http://www.envase.com.pe ventas@envase.com.pe
 RUC 20100004322

ORDEN DE COMPRA 25200645

viernes, 20 de Junio de 2025

Señor (es) : ARGU'S SERVICE S.R.L. Dirección : ASOC.PRO VIV. SAN CARLOS MZ. A LOTE 3-A SANTA ANI Telefono : 3542305 Condición : Factura Negociable 60 días Referencia : Molienda PUCUSANA // Junio Entrega en : AV. ELMER FAUCETT	RUC : 20157429681 Atención : ENRIQUE CASTRO/ G.ARGUMEI Moneda : SOLES Comprador : Sergio Lucero Fecha Entrega : 26/06/2025
--	---

#	Código	Descripción	Cantidad	U.M.	P. Unitario	Total Línea	F. Entrega
1	00966	SERV. MOLIENDA PLAST SCRAP ROJO COCA COLA	60,000.00	SER.	1.25	75,060.00	

Comentarios

Molienda PUCUSANA // Junio

Consideraciones

Sub Total	: 75,060.00
Descuento	: 0.00
Impuestos	: 13,510.80
Total OC	: 88,570.80

SON : OCHENTA Y OCHO MIL QUINIENTOS SETENTA Y 80 / 100 SOLES

SOMOS AGENTES DE RETENCION DE I.G.V. SEGUN: R.S. N°037-2002/SUNAT LAS FACTURAS Y OTROS COMPROBANTES

SOMOS AGENTES DE PERCEPCIÓN DE I.G.V. SEGUN: R.S. N°037-2002/SUNAT LAS FACTURAS Y OTROS COMPROBANTES