

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**DISEÑO DE UN SISTEMA CENTRALIZADO DE MONITOREO Y GENERACIÓN DE ALARMA
PARA CADENA DE VENTAS DE COMIDA RÁPIDA**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero de Ejecución en CONTROL E
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:

María Paz Guiñez Robles

Profesor Guía:

Mag. Guelis Montenegro Zamora



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Diseño de un sistema centralizado de monitoreo y generación de alarmas para cadena de ventas de comida rápida

Nombre del candidato(a): Maria Paz Guiñez Robles

Carrera / Grado: Ingeniero de Ejecución en CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Campus: Viña del mar

Departamento: Departamento de Electrotecnia e informática

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Gulio Montenegro Z., en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses

☐ 12 meses

☐ 2 años

☐ 3 años

☐ 5 años

☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 27/10/2026

Firma: _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 27/10/2026

Firma: _____

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

KEYWORDS: MONITOREO, ALARMA, ESP32, COMIDA RÁPIDA.

La automatización en la industria de alimentos se inició durante la Revolución Industrial del siglo XVIII, impulsada por la necesidad de pasar de la producción artesanal a la mecanizada. Este cambio permitió producir en masa con mayor rapidez y menor costo. Con el tiempo, la innovación tecnológica captó la atención de miles de cadenas de producción debido a sus ventajas: aumento de la eficiencia, reducción de costos y mejora de la competitividad.

El monitoreo de variables críticas en equipos de cadenas de comida rápida y la detección temprana de fallas son esenciales para disminuir tiempos de respuesta y evitar daños en los componentes. Un equipo fuera de servicio afecta directamente la rentabilidad de la operación. Automatizar su monitoreo remoto aumenta la disponibilidad operativa y reduce el desgaste prematuro de los componentes.

La propuesta consiste en diseñar un sistema centralizado de monitoreo basado en un microcontrolador ESP32-S3, encargado de detectar condiciones de falla en cafeteras, hornos y lavavajillas industriales, enviando la información a una plataforma web para su visualización remota. Esta interfaz registra los eventos detectados y emite alarmas cuando se identifican errores repetitivos, permitiendo anticipar fallas inminentes y optimizar la gestión del mantenimiento.

Este trabajo está enfocado en la mejora continua del servicio técnico prestado por la empresa Marsol, mediante la incorporación de herramientas tecnológicas que permitan una supervisión más eficiente de los equipos instalados en terreno. La implementación del sistema busca reducir los tiempos de diagnóstico y respuesta ante fallas, mejorar la trazabilidad de los eventos registrados, optimizar la planificación de las actividades de mantenimiento y aumentar la disponibilidad operativa de los equipos atendidos por la empresa. De esta manera, la propuesta contribuye a fortalecer la calidad del servicio entregado por Marsol, generando mayor confiabilidad para sus clientes y aportando a la modernización de sus procesos de soporte técnico.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.....	2
1 ANTECEDENTES GENERALES	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1.1 Empresas a las que Marsol presta servicio.....	5
1.1.2 Equipos asociados.....	6
1.1.3 Ejemplo de la problemática	7
1.1.4 Diagrama de Ishikawa.....	8
1.2 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	8
1.2.1 Requerimientos del sistema	9
1.2.2 Stakeholders o Partes Interesadas	10
1.2.3 Requerimientos y alternativas de solución	12
1.2.4 Selección del microcontrolador ESP32-S3.....	13
1.2.5 Conceptos clave de una página web	15
1.3 METODOLOGÍA DEL PROYECTO	15
1.3.1 Alcances y limitaciones.....	16
1.3.2 Valor agregado.....	16
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO	17
1.4.1 Objetivo General.....	18
1.4.2 Objetivos Específicos	18
CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	19
2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....	20
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS MONITOREADOS	20
2.1.1 Cafetera Automática.....	20
2.1.2 Lavavajillas Industrial.....	21
2.1.3 Horno Industrial Automatizado	21
2.2 ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA	22
2.2.1 Componentes principales de la arquitectura	24
2.2.2 Características de los sensores.....	27
2.3 MICROCONTROLADOR ESP32-S3	28
2.3.1 Integración del ESP32-S3 con las variables de la cafetera	29

2.3.2 Adquisición de variables	31
2.3.3 Integración de señales provenientes de los equipos	32
2.4 PÁGINA WEB DEL SISTEMA DE MONITOREO	34
2.4.1 Lenguaje de programación utilizado	35
2.4.2 Estructura del sitio web	36
2.5 LÓGICAS DE ALARMAS PROPUESTAS	38
2.5.1 Procesamiento y detección de fallas repetitivas	39
2.6 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN I²C ENTRE LA TARJETA DE CONTROL Y EL ESP32-S3	40
2.6.1 Topología de red y conexión a Internet	42
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS	44
3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
3.1 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA	46
3.1.1 Criterios de diseño	46
3.1.2 Estrategia de adquisición de datos.....	46
3.1.3 Procesamiento y detección de fallas	47
3.1.4 Comunicación del sistema	48
3.1.5 Análisis de factibilidad técnica.....	48
3.1.6 Indicadores técnicos de diseño	49
3.2 ESTUDIO DE COSTOS DEL SISTEMA	50
3.2.1 Costos de recursos humanos.....	50
3.2.2 Costo de componentes y materiales	51
3.2.3 Costos de operación y mantención	53
3.2.4 Inversión estimada del proyecto	54
3.2.5 Pérdidas operacionales actuales	54
3.2.6 Estimación de pérdidas mensuales y anuales	56
3.2.7 Análisis económico del sistema propuesto	57
3.2.8 Consideraciones para una futura implementación	58
3.3 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	59
3.3.1 Etapas del diseño	59
3.4 FUTURAS MEJORAS.....	61
CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFÍA.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Logo empresa.....	4
Figura 1-2. Marsolinos.....	4
Figura 1-3. Cafetera melitta.	6
Figura 1-4. Diagrama de ishikawa.	8
Figura 1-5. Diagrama de pines (gpio) del microcontrolador esp32-s3.....	13
Figura 1-6. Arquitectura funcional del esp32-s3.	14
Figura 2-1. Diagrama de flujo.	23
Figura 2-2. Diagrama de bloques del proceso del sistema de monitoreo remoto	25
Figura 2-3. Topología estrella del sistema centralizado de monitoreo remoto	26
Figura 2-4. Esquema de conexión propuesto para la cafetera	34
Figura 2-5. Página github con código en javascript.....	35
Figura 2-6. Página github.....	36
Figura 2-7. Simulación monitoreo en tiempo real.	38
Figura 2-8. Simulación de página web en tiempo real.....	40
Figura 2-9. Disposición de conectores en manual técnico.....	41
Figura 2-10. Asignación de conectores manual técnico.	42
Figura 2-11. Diagrama monitoreo.	43
Figura 3-1. Comparación de la pérdida económica promedio por evento de falla en las sucursales analizadas.....	55
Figura 3-2. Pérdidas económicas estimadas por sucursal.	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Requerimientos del sistema.....	9
Tabla 1-2. Stakeholders o partes interesadas del proyecto.....	11
Tabla 1-3. Comparación de alternativas para el procesamiento.....	12
Tabla 2-1. Variables y características de los sensores considerados.	31
Tabla 2-2. Señales, protocolos y adaptación al esp32-s3.	33
Tabla 3-1. Carta ganantt del desarrollo del sistema de monitoreo remoto.	45
Tabla 3-2. Indicadores técnicos.....	49
Tabla 3-3. Costos recursos rr.hh.....	51
Tabla 3-4. Costos de componentes y materiales.	52
Tabla 3-5. Costos operación y mantención.....	53
Tabla 3-6. Inversión inicial del proyecto.	54
Tabla 3-7. Pérdida económica por falla.....	54
Tabla 3-8. Estimación de pérdidas mensuales y anuales.....	56
Tabla 3-9. Escenarios de reducción de pérdidas operacionales.	58

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS:

ESP32-S3	: Microcontrolador para aplicaciones IoT desarrollado por Espressif.
IoT	: Internet of Things (Internet de las Cosas).
HMI	: Human Machine Interface (Interfaz Hombre-Máquina).
HTML	: HyperText Markup Language (Lenguaje de estructura web).
CSS	: Cascading Style Sheets (Lenguaje de estilos web).
JS	: JavaScript (Lenguaje de programación web dinámico).
Wi-Fi	: Tecnología de comunicación inalámbrica.
I ² C	: Inter-Integrated Circuit (Protocolo de comunicación serial).
UART	: Universal Asynchronous Receiver Transmitter (Comunicación serial).
SPI	: Serial Peripheral Interface (Protocolo de comunicación síncrona).
UI	: User Interface (Interfaz de usuario).
GPIO	: General Purpose Input/Output.
PSRAM	: Pseudo Static Random Access Memory (Memoria RAM externa).
SRAM	: Static Random Access Memory (Memoria RAM interna).
PWM	: Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulso).
ADC	: Analog-to-Digital Converter (Convertidor Analógico-Digital).
SDA	: Serial Data (línea de datos del bus I ² C).
SCL	: Serial Clock (línea de reloj del bus I ² C).

B. SIMBOLOGÍA:

°C	: Temperatura
bar	: Unidad de presión
A	: Ampere (Corriente eléctrica)
V	: Volt (tensión eléctrica)
s	: Segundo
min	: Minuto
%	: Porcentaje
H	: Hora
MHz	: Megahertz
KB	: Kilobytes

INTRODUCCIÓN

En Chile, a finales del siglo XX y principios del XXI, la automatización en la industria alimenticia tomó gran impulso. Surgieron máquinas como las cafeteras autoservicio en estaciones Copec y hornos automáticos para la cocción de pollos en supermercados, reemplazando labores que antes requerían de 3 a 5 personas.

Durante el siglo XXI, estas tecnologías han evolucionado hacia modelos más eficientes y precisos, aunque algunos equipos fueron discontinuados por fallas recurrentes. Estos avances responden a la necesidad de producir alimentos a gran escala de forma más eficiente, mediante controladores de temperatura más exactos y tecnologías digitales que permiten programación y control automático.

El principal desafío de estos equipos radica en el **monitoreo a distancia**, ya que muchas fallas no se detectan de manera oportuna. Un sistema de monitoreo remoto permitiría disminuir fallas y acelerar la respuesta del servicio técnico.

El presente trabajo propone el **diseño de un sistema centralizado de monitoreo** que permita detectar variables críticas y generar alarmas preventivas para reducir tiempos de respuesta y fallas mayores.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1 ANTECEDENTES GENERALES

Este capítulo presenta la problemática a resolver, el método mediante al cual se da solución y se definen los objetivos a cumplir.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, en la industria alimenticia automatizada no existe un sistema eficiente de monitoreo remoto de equipos. Las fallas son detectadas de forma manual y tardía, lo que provoca detenciones prolongadas y pérdidas económicas.

Es necesario implementar un sistema de monitoreo centralizado que lea variables relevantes (como temperatura, consumo eléctrico y presión) mediante un microcontrolador y las transmita a una plataforma web, la cual genere alarmas oportunas y accesibles al personal técnico.

Respecto a lo mencionado, el contexto ocurre en la empresa Marsol S.A., que es una empresa chilena fundada en 1946, especializada en la comercialización y servicio técnico de equipamiento gastronómico e industrial para diversos sectores como restaurantes, minería, hotelería y supermercados. Ofrecen un servicio integral que incluye desde la asesoría técnica y capacitación hasta el mantenimiento y soporte para asegurar la eficiencia operativa de los negocios de sus clientes en todo Chile. El logo de la empresa se puede apreciar en la figura 1-1 y a los trabajadores, denominados “Marsolinos” en la figura 1-2.



Fuente: www.marsol.cl.

Figura 1-1. Logo empresa.



Fuente: www.marsol.cl

Figura 1-2. Marsolinos.

La misión de Marsol S.A.

Ser un proveedor de servicios que comercializa equipamiento gastronómico y de tratamiento textil, ofreciendo "el respaldo que tu negocio necesita". A lo largo de sus más de 75 años de trayectoria, han buscado generar confianza y acompañar a sus clientes, trabajando bajo el eslogan "Listos para servir".

La visión no está definida en un único texto, se puede inferir a partir de su trayectoria y presencia en el mercado

- **Son líderes en equipamiento gastronómico:** Han mantenido su posición en el mercado chileno durante más de 75 años, lo que demuestra su enfoque en el liderazgo y la experiencia en el sector.
- **Ofrecer un servicio integral:** Su objetivo es acompañar a los clientes en la realización de sus proyectos, brindando un servicio completo que va más allá de la simple venta de productos.
- **Consolida la confianza de los clientes:** La empresa busca mantener una relación de confianza y compromiso con sus clientes, como lo demuestran su larga historia y su presencia en el mercado.

Los valores que representa son: Responsabilidad, Innovación, Calidad, Servicio.

1.1.1 Empresas a las que Marsol presta servicio

Marsol presta servicios de mantenimiento preventivo y correctivo a diversas empresas del sector gastronómico, hotelero, retail y estaciones de servicio. Entre sus principales clientes se encuentran las cadenas Copec y Aramco, hoteles de la cadena Pullman, supermercados Santa Isabel, Jumbo, Acuenta y Líder, además de restaurantes como Just Burger, Roof Burger y Marco

Polo, entre otros. La diversidad de clientes implica la atención de una amplia variedad de equipos críticos para la operación diaria de estos establecimientos.

1.1.2 Equipos asociados

Dentro de los equipos atendidos por Marsol destacan cafeteras automáticas Melitta, hornos Rational y Merrychef, lavavajillas industriales, balanzas electrónicas y otros equipos gastronómicos. Estos equipos son fundamentales para la continuidad operacional de los negocios, por lo que una falla puede generar pérdidas económicas y afectar directamente la calidad del servicio entregado al cliente final.

En la figura 1-3 se observa una cafetera melitta.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-3. Cafetera Melitta.

1.1.3 Ejemplo de la problemática

Melitta es una máquina de café automática que diariamente vende entre 50 a 300 tazas diarias de café.

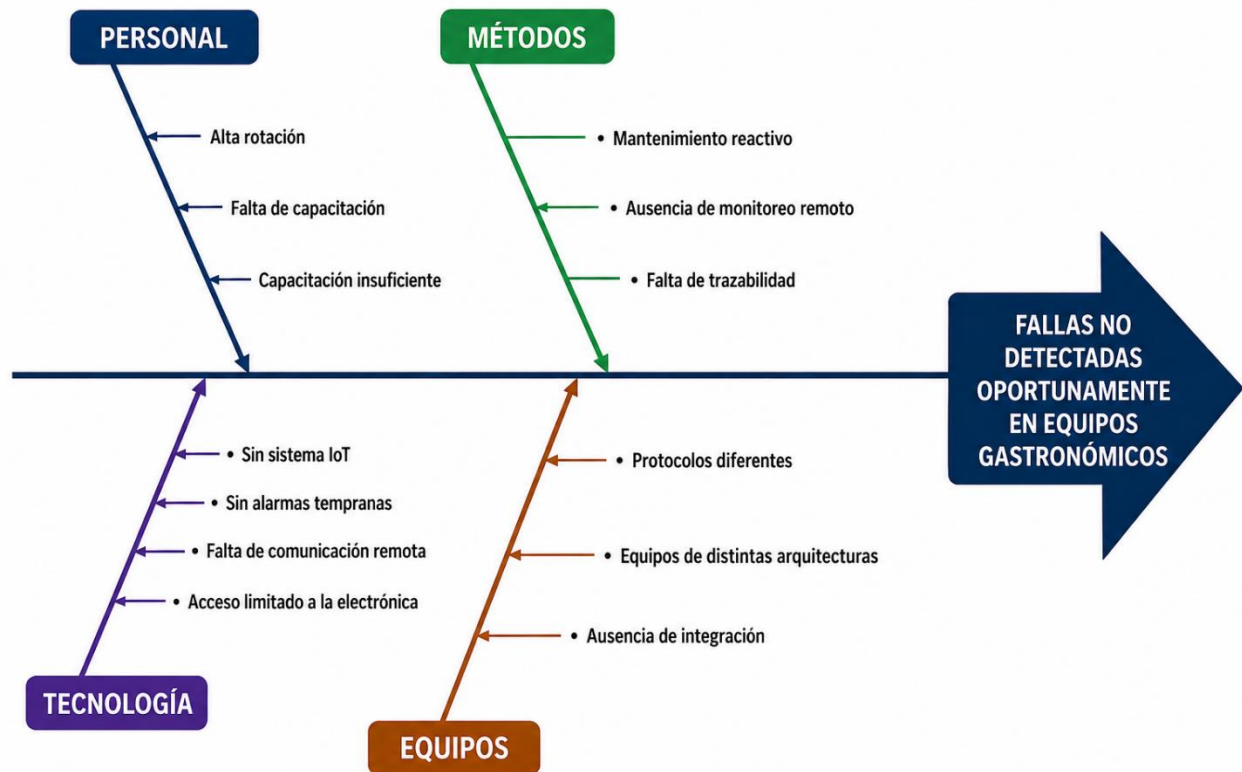
Melitta identifica sus errores, ya sea por desgaste o error de mala manipulación, un día cualquiera a Melitta le rellenan mal el chocolate instantáneo a raíz del exceso de rotación de personal que se encuentra en los puntos Copec. Éste hace que el motor del sistema de instantáneo se tranque por su exceso de chocolate, el personal que causó el problema solo se acercó a rellenar el chocolate y luego se fue lejos de Melitta.

Aquí se puede notar que Melitta identifica error en motor de sistema de instantáneo, pero solo Melitta sabe de su error y no lo puede compartir con el personal del servicio técnico, ya que no tiene la manera de comunicarse con ellos a raíz de este error, por lo cual no puede hacer más que forzar su motor de sistema de instantáneo con todo el chocolate atascado.

Finalmente, un día un cliente de la tienda informa al personal que melitta no expende chocolate ni tampoco vainilla, solo expende americanos y capuchinos, ¿Por qué ya no expende vainilla? Pues porque el motor no sólo estaba dirigido al chocolate sino también a la vainilla, cuando el personal se acerca a ver a melitta se dan cuenta que el sistema de instantáneo este todo lleno de chocolate, también a melitta le tocaba lavarse cada 12 hrs. con unas pastillas que disuelven la nata de la leche por los ductos y válvulas, pero el personal nuevo no sabe o no encuentra las pastillas o si es que solo la ponen a lavar con agua, esto hace que a melitta se le obstruya una de las válvulas solenoides de actuación de la leche, ahora el vaso de café con leche no sale lleno, sale a la mitad y los clientes también están reclamando por eso, el personal se da cuenta que fue su culpa y por temor a ser despedido limpia la evidencia. A las horas llega el servicio técnico de melitta, pero como no hay evidencia, falló, para cuando revisan los errores en el local, es muy tarde, el motor de melitta ya está averiado luego de 12 mensajes de error en motor de sistema de instantáneo y el solenoide con obstrucción limito el acceso de leche al circuito y provocó que se tapara todo el circuito de leche y dos válvulas más, luego de 6 errores de falta de limpieza y obstrucciones.

1.1.4 Diagrama de Ishikawa

La figura 1-4 muestra un diagrama de Ishikawa donde se observa un resumen de las causas consecuencias de lo que se ha presentado hasta ahora.



Fuente: Creación propia basada en IA.

Figura 1-4. Diagrama de Ishikawa.

1.2 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Se propone el desarrollo de un sistema centralizado de monitoreo para equipos de cadenas de comida rápida, empleando un microcontrolador conectado a una página web. El

sistema permitirá visualizar las alarmas de riesgo en tiempo real, facilitando la rápida intervención del servicio técnico y reduciendo pérdidas por detención de equipos.

1.2.1 Requerimientos del sistema

La tabla 1-1 presenta los requerimientos del sistema considerando una descripción cada uno, así como también el criterio de aceptación.

Tabla 1-1. Requerimientos del sistema.

N°	Requerimiento	Descripción	Criterio de aceptación
1	Sistema con conexión a internet	El sistema debe permitir la transmisión remota de información hacia una plataforma web para su visualización y análisis.	El sistema debe transmitir los datos correctamente hacia la página web utilizando conexión Wi-Fi.
2	Unidad de procesamiento de datos	El sistema debe incorporar un microcontrolador que permita procesar los datos obtenidos por los sensores y enviarlos al servidor web.	El microcontrolador debe recibir datos de los sensores y transmitirlos correctamente al sistema de monitoreo.
3	Medición de temperatura	El sistema debe ser capaz de medir la temperatura de los equipos monitoreados para detectar posibles fallas relacionadas con sobrecalentamiento.	El sensor debe entregar valores de temperatura que puedan visualizarse en la página web en tiempo real.
4	Medición de corriente eléctrica	El sistema debe monitorear el consumo eléctrico de los equipos para identificar sobrecargas o interrupciones en el funcionamiento.	El sensor debe detectar variaciones en el consumo eléctrico y reportarlas al sistema de monitoreo.
5	Medición de presión		El sensor debe entregar datos de presión que puedan ser registrados y

		El sistema debe permitir monitorear la presión interna de ciertos equipos para asegurar que operen dentro de rangos seguros.	visualizados en la plataforma web.
6	Visualización de información	El sistema debe mostrar la información recolectada por los sensores en una interfaz web para facilitar el monitoreo remoto.	La página web debe mostrar variables del sistema y alertas de falla en tiempo real.
7	Comunicación de datos	El sistema debe utilizar un protocolo de comunicación eficiente para transmitir datos	La transmisión de datos debe realizarse correctamente mediante el protocolo MQTT.
8	Alimentación del sistema	El sistema debe contar con una fuente de alimentación que permita el funcionamiento estable del microcontrolador y los sensores.	La fuente de alimentación debe entregar 5V y 2A estables para garantizar el funcionamiento del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

1.2.2 Stakeholders o Partes Interesadas

Los stakeholders corresponden a las personas, organizaciones o grupos que participan, se ven afectados o se benefician del desarrollo del proyecto. En el presente trabajo, los principales stakeholders se ven en la tabla 1-2

Tabla 1-2. Stakeholders o Partes interesadas del Proyecto.

Stakeholder	Tipo	Interés en el proyecto	Beneficio esperado
Marsol S.A.	Interno	Mejorar la calidad y eficiencia del servicio técnico.	Reducción de tiempos de respuesta, optimización de recursos.
Técnicos de Marsol	Interno	Contar con información actualizada de los equipos.	Diagnóstico más rápido y planificación eficiente de las visitas técnicas.
Clientes de Marsol (Copec, Aramco, restaurantes, supermercados y hoteles)	Externo	Mantener sus equipos operativos y reducir pérdidas económicas asociadas a fallas.	Mayor disponibilidad de los equipos y disminución de tiempos de inactividad.
Usuarios finales	Externo	Disponer continuamente de los servicios ofrecidos por los equipos gastronómicos.	Menor probabilidad de interrupciones en la atención y mejor experiencia de servicio.
Universidad Técnica Federico Santa María	Institucional	Desarrollo de investigación aplicada y formación profesional.	Generación de conocimiento y aporte tecnológico al sector industrial.
Alumna memorista	Interno	Desarrollar una solución tecnológica aplicando conocimientos de Control e Instrumentación Industrial.	Formación profesional, adquisición de experiencia y obtención del grado académico.

Fuente: Elaboración propia.

1.2.3 Requerimientos y alternativas de solución

Como se muestra en la Tabla 1-3, se comparan distintas alternativas para la unidad de procesamiento y comunicación del sistema, considerando los requerimientos de conectividad, integración, tamaño y aplicación en el sistema de monitoreo propuesto:

Tabla 1-3. Comparación de alternativas para la unidad de procesamiento.

Característica	PLC	PIC16F877A	Arduino UNO R3	ESP32-S3
Wi-Fi integrado	Según modelo	No	No	Sí
Comunicación I ² C	Según modelo	Sí	Sí	Sí
Tamaño físico	Mayor	Reducido	Medio	Reducido
Hardware adicional para Wi-Fi	Puede requerir	Sí	Sí	No
Orientación a aplicaciones IoT	Según modelo	Limitada	Limitada	Alta
Implementación de MQTT	Según configuración	Requiere hardware adicional	Requiere hardware adicional	Mediante software / librerías
Costo relativo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
Adecuación al sistema propuesto	Media	Media	Media	Alta

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la comparación presentada, el ESP32-S3 presenta una mayor adecuación a los requerimientos del sistema de monitoreo remoto propuesto, principalmente por integrar conectividad Wi-Fi, comunicación I²C, capacidad para implementar MQTT mediante software y un tamaño reducido y adecuado para la integración, evitando la incorporación de hardware adicional para la conexión inalámbrica.

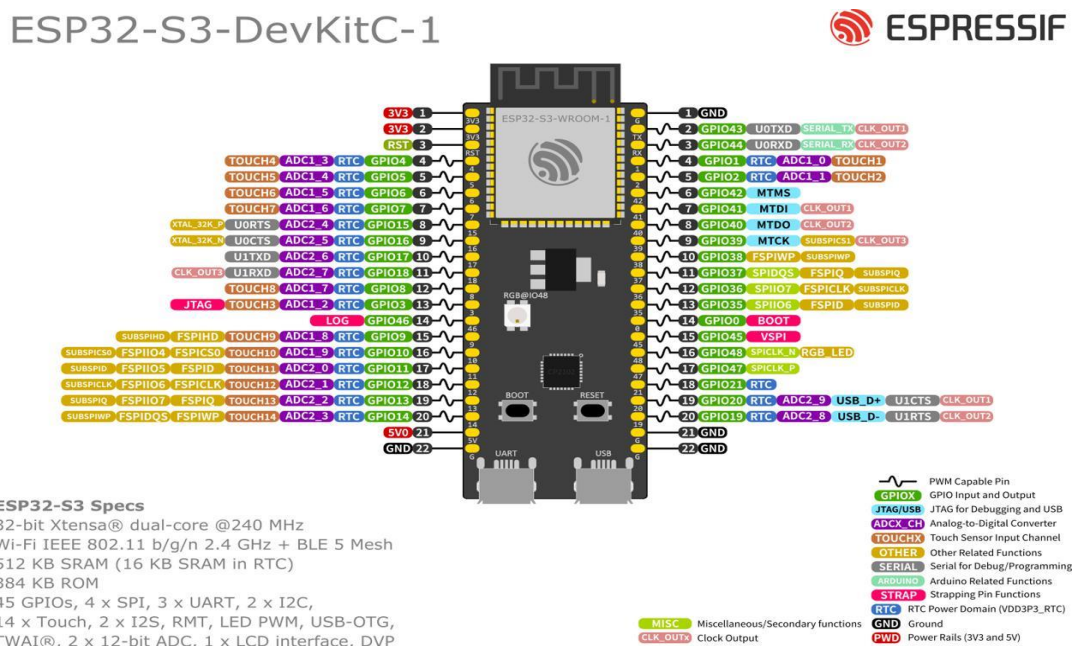
1.2.4 Selección del microcontrolador ESP32-S3

El **ESP32-S3** es un microcontrolador de Espressif enfocado en Internet de las Cosas (IoT) e inteligencia artificial (IA), con un procesador dual-core [Xtensa LX7](#) de hasta 240 MHz y conectividad Wi-Fi 4 y [Bluetooth 5 \(LE\)](#). Se distingue por sus 45 GPIOs programables, amplio soporte para memoria flash externa y PSRAM, y aceleración de IA mediante instrucciones vectoriales de bajo costo y consumo.

A diferencia de controladores integrados en equipos industriales, el ESP32-S3 facilita el monitoreo remoto y la acción temprana ante fallas. Su versatilidad y compatibilidad con protocolos como **HTTP** y **MQTT** lo convierten en una excelente opción para aplicaciones IoT.

Arduino IDE será el software principal para programar la ESP32-S3 mediante lenguaje C/C++, éste permite desarrollar, compilar y cargar programas, además de incorporar librerías para comunicación Wi-Fi, I2C, UART y protocolos IoT.

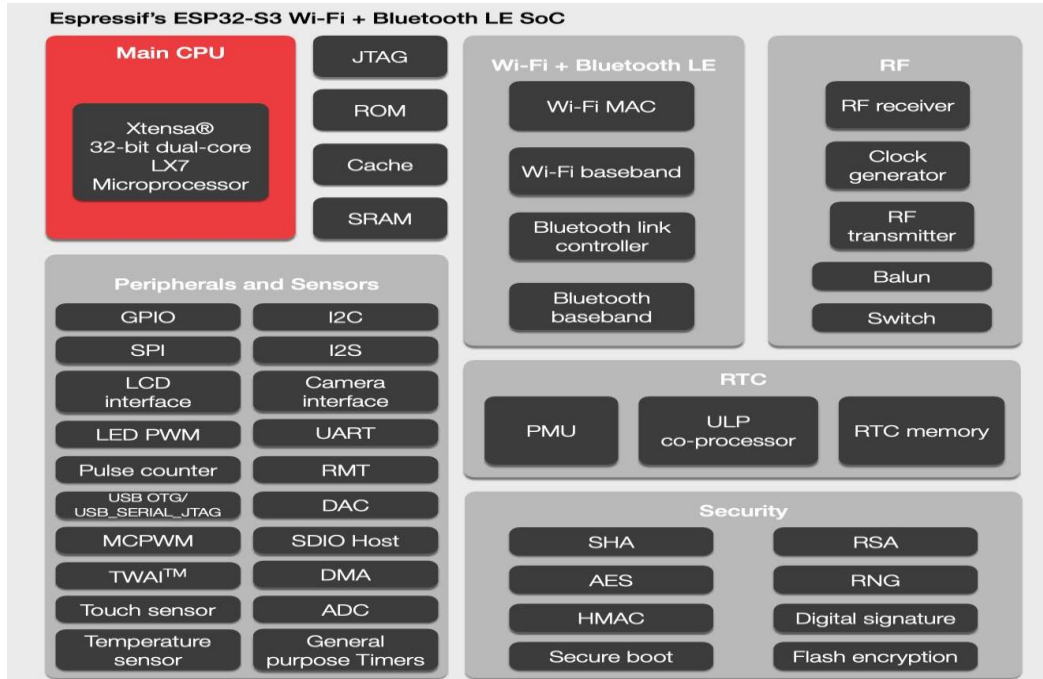
En la figura 1-5 se observa un diagrama de pines de un microcontrolador Esp32-S3



Fuente: <https://www.espressif.com/>

Figura 1-5. Diagrama de pines (GPIO) del microcontrolador ESP32-S3

En la figura 1-6 se observa la arquitectura funcional del ESP32-S3 con módulos de procesamiento, comunicación y periféricos.



Fuente: Espressif Systems – ESP32-S3 Datasheet

Figura 1-6. Arquitectura funcional del ESP32-S3

Tal como se muestra en la figura 1-5 y 1-6 el ESP32-S3 integra múltiples periféricos y funcionalidades orientadas a aplicaciones IoT y automatización industrial. Entre sus principales características destacan:

- Conectividad Wi-Fi integrada para transmisión remota de datos.
- Capacidad de procesamiento suficiente para el monitoreo en tiempo real.
- Amplia cantidad de GPIO para futuras expansiones.
- Compatibilidad con protocolos IoT.
- Bajo costo de implementación.
- Bajo consumo energético.
- Facilidad de programación y desarrollo.

1.2.5 Conceptos clave de una página web

- Página web:

Un documento individual que puede contener texto, imágenes, videos y enlaces, accesible a través de un navegador.

- Sitio web:

Una colección de páginas web relacionadas, que comparten un dominio y se organizan para presentar información sobre una empresa, persona o proyecto.

- Dominio:

La dirección única que identifica a un sitio web en internet, por ejemplo, www.ejemplo.com.

- Servidor web:

Una computadora que almacena los archivos de un sitio web y los entrega a los usuarios cuando los solicitan.

- Hosting (Alojamiento web):

El servicio que proporciona el espacio necesario en un servidor para que los archivos de la página web estén disponibles en línea.

- Navegador web:

El software que se utiliza para ver las páginas web, interpretando el código para mostrar la información al usuario.

1.3 METODOLOGÍA DEL PROYECTO

La metodología del proyecto se fundamenta en un enfoque experimental y de desarrollo iterativo, enfocado en la validación de un sistema centralizado de monitoreo. El proceso contempla etapas secuenciales que permiten estructurar el diseño, la integración de hardware y software, y la validación del sistema bajo condiciones simuladas de operación. Se busca garantizar un diseño robusto, escalable y de bajo costo, cumpliendo con los requerimientos planteados.

Durante todo el proceso se aplicarán principios de ingeniería de control e instrumentación industrial, combinados con metodologías de desarrollo de software ágil, priorizando la funcionalidad del sistema y la fiabilidad de los datos registrados.

1.3.1 Alcances y limitaciones

El presente trabajo aborda el diseño de un sistema centralizado de monitoreo y generación de alarmas orientado a cadenas de comida rápida.

Entre los principales alcances se destacan:

- Diseño de hardware basado en el microcontrolador ESP32.
- Integración de sensores de temperatura, corriente y presión de los equipos.
- Desarrollo de interfaz web para visualización y registro de variables.

Las limitaciones del sistema se centran principalmente en la cobertura de la red Wi-Fi, la capacidad de procesamiento del microcontrolador y la dependencia de conexión estable a Internet. Asimismo, el prototipo no contempla, en esta fase, la implementación de seguridad avanzada ni el control remoto de los equipos monitoreados.

1.3.2 Valor agregado

El sistema propuesto reducirá significativamente los tiempos de inactividad de los equipos al permitir la detección temprana de fallas mediante el monitoreo continuo de variables críticas como temperatura, presión y consumo eléctrico. Esta supervisión en tiempo real mejora la trazabilidad de los eventos, ya que cada anomalía queda registrada en una plataforma web centralizada que facilita el análisis histórico de fallas y la identificación de patrones recurrentes. Además, la solución plantea un método escalable y de bajo costo, basado en el microcontrolador ESP32, que puede implementarse en múltiples locales de una misma cadena sin requerir infraestructura compleja ni inversión elevada. Gracias a su conectividad Wi-Fi integrada, el sistema permite el envío inmediato de datos y la activación de alarmas automáticas cuando un

valor supera los rangos operativos establecidos, alertando al personal técnico de manera oportuna. Esto es especialmente relevante para cadenas como Copec, Aramco, Just Burger, Roof Burger, Jumbo o Santa Isabel, donde la operación continua de cafeteras, hornos, balanzas y lavavajillas es esencial para la atención al cliente y la continuidad del servicio. La integración de esta herramienta contribuye directamente a disminuir tiempos de respuesta, evitar daños mayores en los equipos, optimizar los recursos del servicio técnico y mejorar la disponibilidad operativa general del negocio.

1.4 **OBJETIVOS DEL PROYECTO**

Establecer objetivos es importante porque permite definir con claridad la dirección y el alcance del proyecto, asegurando que todas las actividades se orienten hacia un propósito común. En un trabajo de ingeniería, los objetivos funcionan como una guía estructural que delimita qué se debe lograr, cómo se logrará y bajo qué criterios se evaluará el éxito de la solución propuesta. Además, facilitan la planificación ordenada de cada etapa, permiten asignar recursos de manera eficiente y apoyan la toma de decisiones técnicas durante el desarrollo.

Contar con objetivos bien formulados también contribuye a medir los avances y resultados del proyecto, ya que proporcionan parámetros concretos para evaluar el cumplimiento de cada fase. En proyectos tecnológicos —como el diseño de un sistema de monitoreo remoto basado en un microcontrolador— los objetivos ayudan a diferenciar claramente los aspectos funcionales, técnicos y operativos que deben abordarse para garantizar el rendimiento, la confiabilidad y la aplicabilidad de la solución.

Finalmente, los objetivos permiten justificar la pertinencia del trabajo, ya que explican la necesidad del proyecto en relación con la problemática identificada. En el contexto de sistemas de monitoreo para cadenas de comida rápida, ayudan a evidenciar cómo la solución propuesta busca disminuir tiempos de respuesta, mejorar la trazabilidad de fallas y optimizar la disponibilidad operativa de los equipos.

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema centralizado de monitoreo de variables en equipos de cadenas de venta de comida rápida para generar una alarma que permita disminuir los tiempos de respuesta, asistencia y revisión técnica.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a. Identificar las variables críticas de operación (temperatura, presión y caudal volumétrico) de los equipos presentes en cadenas de venta de comida rápida.
- b. Estudiar el protocolo de comunicación que permita enviar la información sobre fallas a una tarjeta de desarrollo.
- c. Crear un diagrama de flujo relacionado a la programación de una tarjeta de desarrollo que reciba la información de las fallas de los equipos.
- d. Desarrollar una plataforma web que registre y procese la información para generar las alarmas.
- e. Realizar un estudio de costos del proyecto.

El presente proyecto se desarrolla a nivel de diseño conceptual y tiene como finalidad establecer una solución de monitoreo remoto que posteriormente pueda ser implementada como prueba piloto en los locales considerados en el estudio. Por esta razón, no se plantea una evaluación comparativa de distintas alternativas tecnológicas, sino que se define una arquitectura de referencia basada en los requerimientos técnicos identificados durante el desarrollo del proyecto. La selección de los componentes y protocolos se realiza considerando su compatibilidad con los equipos existentes, disponibilidad, capacidad de comunicación y factibilidad de integración. Una vez implementado y evaluado el sistema piloto, sus resultados permitirán determinar la conveniencia de extender la solución a otros locales comerciales.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

El presente capítulo describe el proceso para desarrollar un sistema centralizado de monitoreo orientado a cadenas de comida rápida, cumpliendo los objetivos planteados en el Capítulo 1. Dentro de todos los equipos esta propuesta, a modo de ejemplo, se centrará en la cafetera Melitta en su mayoría y minoritariamente en hornos y lavavajillas.

En éste se detalla la arquitectura del sistema, las tecnologías utilizadas, el diseño del módulo de adquisición basado en ESP32, la estructura de la página web desarrollada para la visualización de datos y la lógica de alarmas implementada para la detección preventiva de fallas.

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS MONITOREADOS

En el presente proyecto se consideran distintos equipos industriales automatizados utilizados en procesos de preparación y tratamiento de alimentos, específicamente cafeteras automáticas, lavavajillas y hornos industriales automatizados. Estos equipos cuentan con sistemas electrónicos de control y diversos sensores que permiten supervisar variables relevantes para su funcionamiento, tales como temperatura, nivel de agua, presión, estado de componentes y ciclos de operación. El monitoreo de estas variables permite identificar condiciones anómalas, generar alertas y disponer de información útil para el seguimiento del estado operativo y mantenimiento de los equipos.

2.1.1 Cafetera Automatica

Las cafeteras automáticas industriales son equipos diseñados para preparar diferentes tipos de bebidas mediante procesos automatizados de molienda, dosificación, calentamiento y dispensación. Estos equipos incorporan sensores que permiten supervisar variables como temperatura del agua, nivel de agua, estado del molino, presión y ciclos de limpieza.

Además, poseen una tarjeta electrónica de control encargada de gestionar el funcionamiento del equipo y generar códigos de error cuando se detectan anomalías, como fallas del molino, sobre temperatura o ausencia de agua.

Dependiendo del fabricante y modelo, la comunicación interna puede realizarse mediante protocolos seriales como UART, I2C o SPI, así como mediante interfaces propietarias. Por ello, el diseño del sistema considera una arquitectura flexible capaz de adaptarse a diferentes protocolos de comunicación.

2.1.2 Lavavajillas Industrial

Los lavavajillas industriales son equipos automatizados diseñados para realizar procesos de lavado, enjuague y secado mediante el control de temperatura, presión y tiempo de operación.

Para ello, incorporan sensores de temperatura, nivel de agua, presión y detección del estado de las bombas y resistencias.

La tarjeta electrónica de control supervisa continuamente las condiciones de funcionamiento del equipo y genera alarmas o códigos de error cuando se detectan anomalías, tales como fallas en las resistencias, problemas en las bombas o niveles insuficientes de agua.

La comunicación entre los sensores, actuadores y la unidad de control puede implementarse mediante protocolos seriales como UART, I2C, SPI o mediante interfaces industriales y protocolos propietarios, dependiendo del fabricante y modelo del equipo.

2.1.3 Horno Industrial Automatizado

Los hornos industriales automatizados son equipos diseñados para realizar procesos de cocción de manera controlada, mediante la regulación automática de variables como temperatura, humedad y tiempo de operación. Estos equipos incorporan sensores y sistemas electrónicos que permiten supervisar continuamente las condiciones internas de funcionamiento, garantizando la calidad del proceso y la seguridad operacional.

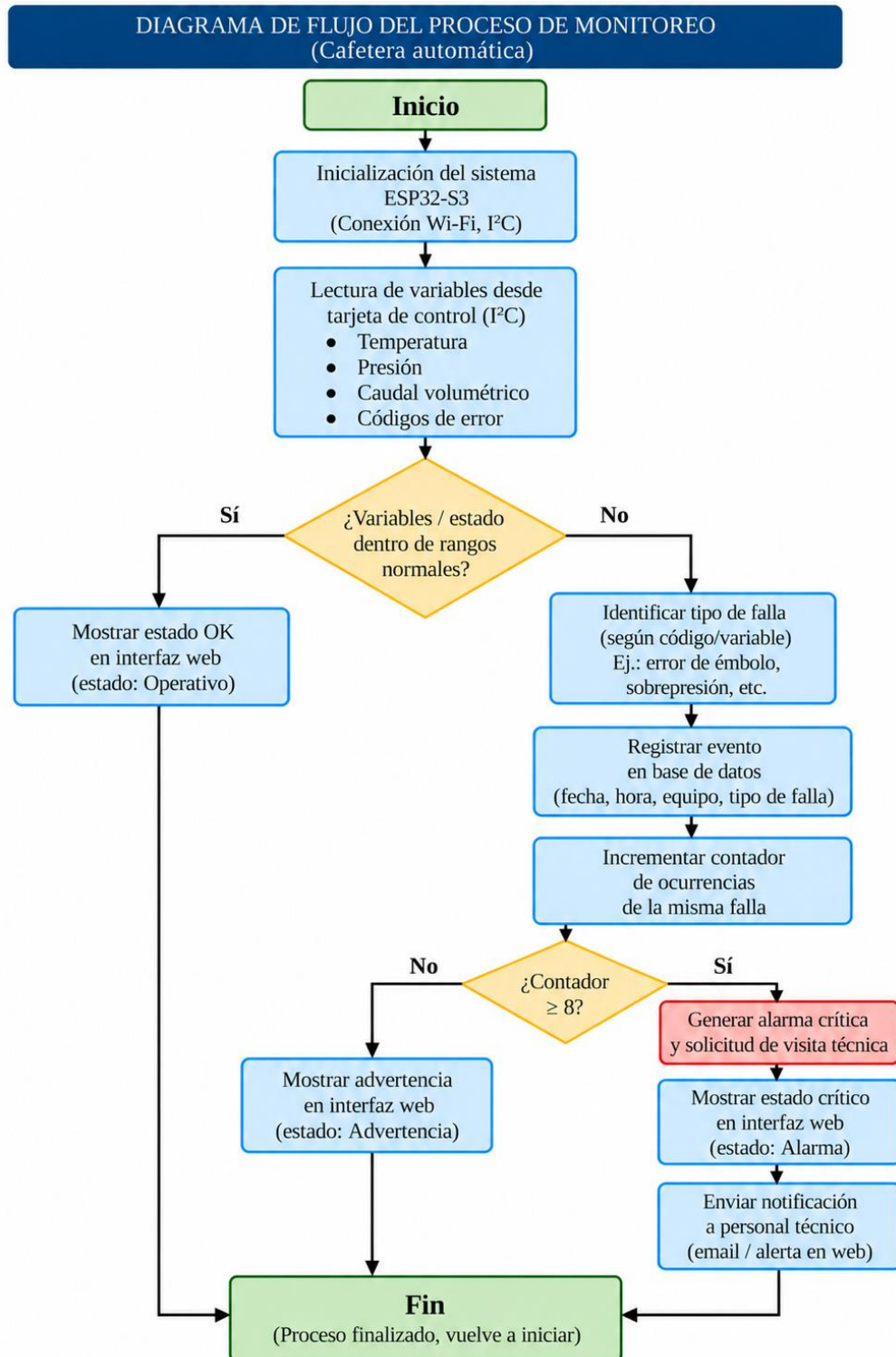
Entre las variables monitoreadas se encuentran la temperatura de la cámara de cocción, la humedad relativa, el estado de los ventiladores, el funcionamiento de las resistencias o quemadores y los ciclos de limpieza del equipo. La información generada por estos sensores es procesada por una tarjeta electrónica de control, la cual puede generar alarmas o códigos de error cuando se detectan anomalías en el funcionamiento.

Muchos modelos modernos disponen de sistemas automáticos de limpieza, capaces de detectar el nivel de suciedad y ejecutar ciclos de lavado sin intervención del operador. Estas funciones permiten optimizar el mantenimiento y prolongar la vida útil del equipo.

Dependiendo del fabricante y del modelo, la comunicación entre los sensores, actuadores y la unidad de control puede realizarse mediante protocolos seriales como UART, I2C, SPI, RS-485 o protocolos propietarios. Por esta razón, el diseño propuesto considera una arquitectura flexible que permita la integración con diferentes interfaces de comunicación durante una futura etapa de implementación.

2.2 **ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA**

En la figura 2-1 se puede observar un diagrama de flujo del sistema de adquisición, procesamiento y transmisión de fallas para equipos industriales mediante plataforma IoT basada en ESP32-S3.



Fuente: Creación propia basada en IA.

Figura 2-1. Diagrama de flujo.

El sistema propuesto se compone de dos partes principales:

1. Unidad de monitoreo local, basada en un microcontrolador ESP32 encargado de adquirir variables críticas de operación.
2. Plataforma web, encargada de registrar los datos transmitidos por el ESP32, procesarlos y mostrarlos mediante una interfaz visual tipo HMI.

La finalidad del sistema es detectar fallas recurrentes en equipos gastronómicos como cafeteras, hornos o lavavajillas, los cuales históricamente presentan fallas por mala manipulación, desgaste o falta de mantenimiento preventivo, tal como se describe en el análisis de equipos críticos del Capítulo.

2.2.1 Componentes principales de la arquitectura

- En **Sensores**: volumetrico, presión y temperatura
- **Microcontrolador ESP32-S3**: adquisición, conteo de fallos y transmisión Wi-Fi.
- **Servidor web**: recepción y registro de datos.
- **Interfaz de usuario (UI Web)**: panel de monitoreo y alarmas.

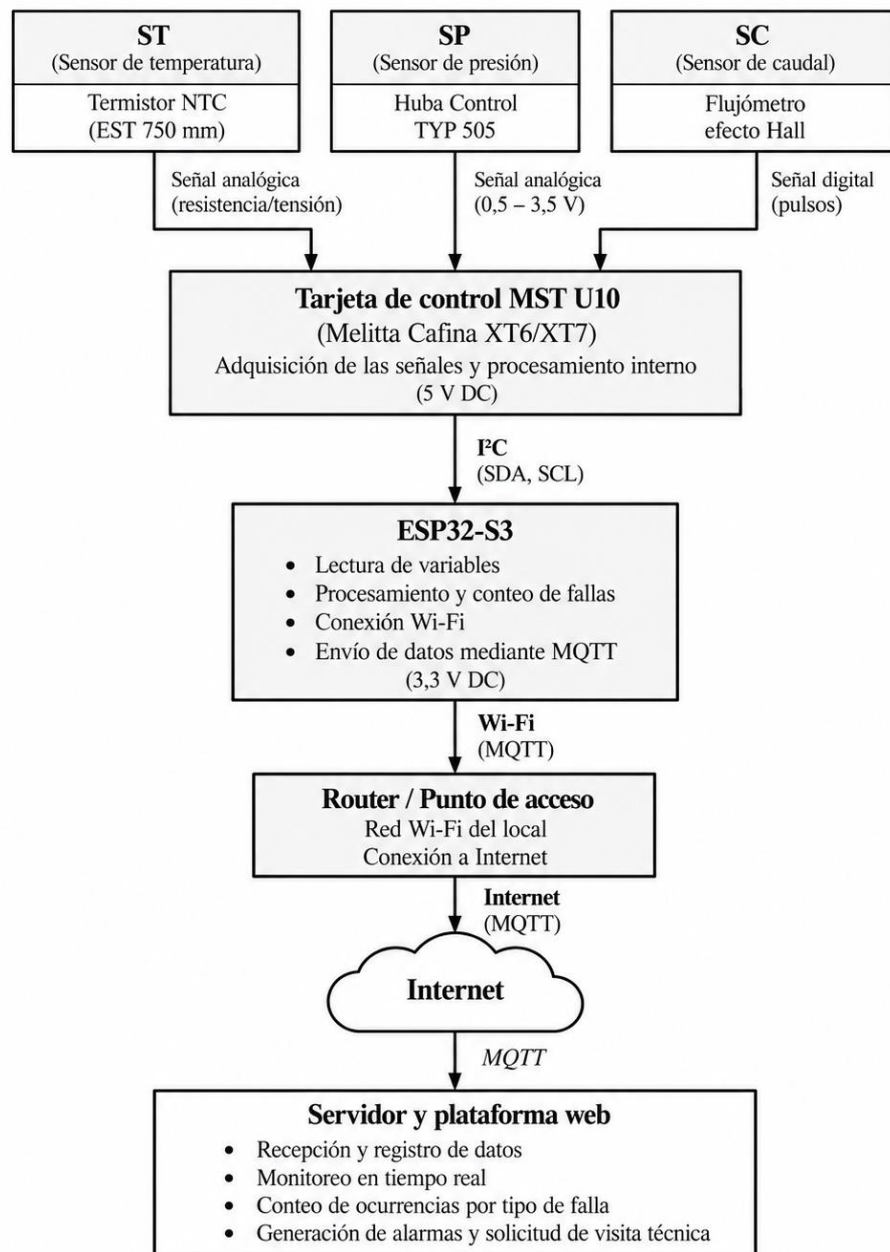
Este tipo de arquitectura distribuida permite escalar la solución a múltiples locales de la cadena, ya que cada ESP32 cumple una función autónoma de supervisión y envía sus datos a un servidor común, accesible por el personal técnico de la empresa.

- Conectividad de los nodos ESP32-S3

Para la conexión de los distintos nodos ESP32-S3 no se requiere un gateway IoT dedicado, debido a que el microcontrolador dispone de conectividad Wi-Fi integrada. Cada ESP32-S3 asociado a una cafetera se conecta de manera independiente a la red Wi-Fi disponible en el local mediante un router o punto de acceso, el cual proporciona acceso a Internet.

La comunicación se establece mediante una topología estrella, donde los nodos ESP32-S3 se conectan al mismo punto de acceso Wi-Fi, sin requerir comunicación directa entre ellos. Cada nodo adquiere la información correspondiente a la cafetera monitoreada y transmite los datos mediante el protocolo MQTT hacia el servidor central.

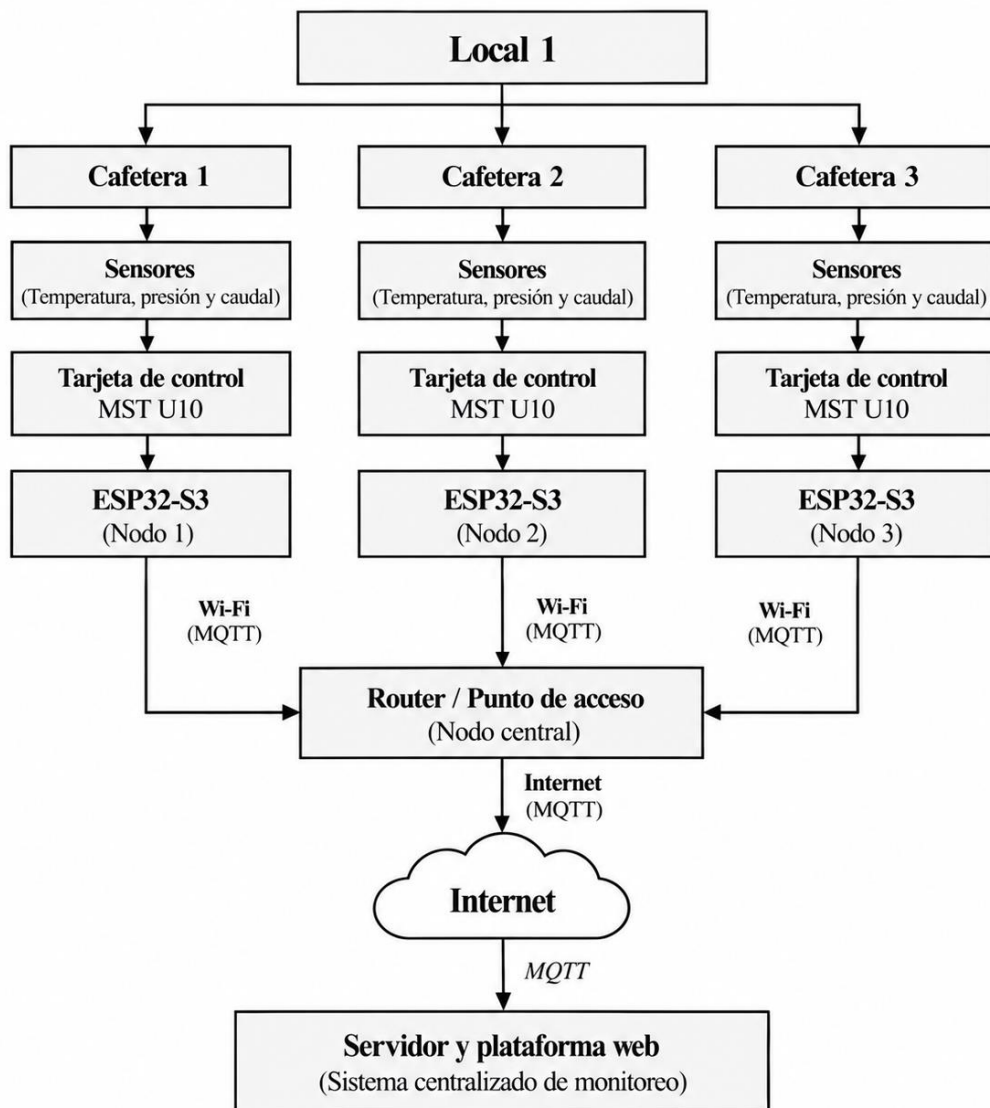
De esta manera, el router o punto de acceso del local cumple la función de gateway de red entre los nodos ESP32-S3 e Internet, por lo que no se considera necesario incorporar un gateway IoT dedicado. La Figura 2-2 presenta el flujo general de adquisición, procesamiento y transmisión de la información para una cafetera monitoreada.



Fuente: Elaboración propia basada en IA.

Figura 2-2. Diagrama de bloques del proceso del sistema de monitoreo remoto.

La topología estrella que se observa en la figura 2-3, permite conectar los tres nodos ESP32-S3 de las cafeteras a un router o punto de acceso Wi-Fi, que actúa como nodo central de comunicación del local. Cada microcontrolador adquiere y procesa la información de su respectivo equipo, transmitiéndola mediante el protocolo MQTT hacia un servidor central a través de Internet. Esta configuración permite centralizar el monitoreo, registrar las fallas y generar alarmas, además de facilitar la incorporación de nuevos equipos al sistema.



Fuente: Elaboración propia basada en IA.

Figura 2-3. Topología estrella del sistema centralizado de monitoreo remoto.

2.2.2 Características de los sensores

- Sensor de temperatura

Para la medición de temperatura se considera un termistor NTC, correspondiente al sensor EST de 750 mm utilizado en la cafetera. Este dispositivo es de naturaleza analógica y resistiva, ya que modifica su resistencia eléctrica en función de la temperatura, su rango de medición es de 0-100 C°. Al tratarse de un NTC (Negative Temperature Coefficient), su resistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura.

La tarjeta electrónica de la cafetera puede incorporar el termistor dentro de un circuito de acondicionamiento, por ejemplo, mediante un divisor resistivo, permitiendo transformar la variación de resistencia en una variación de tensión susceptible de ser medida por el sistema electrónico de control. Por lo tanto, el sensor no establece por sí mismo una comunicación digital con el ESP32-S3; su señal es interpretada previamente por la tarjeta de la cafetera.

- Sensor de presión

Para la supervisión de presión se considera un transmisor Huba Control TYP 505. A diferencia del termistor, este dispositivo incorpora electrónica de acondicionamiento y proporciona una señal analógica de tensión proporcional a la presión medida.

Para el diseño propuesto se considera un rango de medición de presión de 0 a 4 bar, asociado a una señal analógica de salida de 0,5 a 3,5 V. Estos valores permiten supervisar las variaciones de presión durante el funcionamiento de la cafetera.

- Sensor de caudal volumétrico

La medición del volumen de agua se realiza mediante un flujómetro o caudalímetro con sensor de efecto Hall. Este dispositivo presenta una salida de naturaleza digital, a diferencia de los sensores de temperatura y presión.

Cuando el agua circula a través del flujómetro provoca el giro de una turbina interna. El paso de sus elementos magnéticos frente al sensor Hall genera una sucesión de pulsos eléctricos de tensión. La tarjeta electrónica contabiliza estos pulsos y, mediante el factor de conversión correspondiente al flujómetro, determina el volumen de agua desplazado y/o el caudal.

Para la medición del caudal volumétrico se considera el contador de rotor identificado con el código de repuesto Melitta 16857, asociado comercialmente al modelo Gicar 9.0.97.87G. Este dispositivo permite determinar el volumen de agua desplazado mediante la generación de pulsos eléctricos. De acuerdo con el catálogo técnico de Gicar, la configuración con boquilla de 1,15 mm presenta un rango de medición de 0,035 a 1,6 L/min y una resolución nominal de 2.000 pulsos por litro.

El flujómetro dispone normalmente de tres conexiones eléctricas: alimentación (VCC), referencia o masa (GND) y señal de salida (OUT). La señal OUT corresponde al tren de pulsos digitales procesado por la tarjeta electrónica de la cafetera.

2.3 **MICROCONTROLADOR ESP32-S3**

Para el diseño del sistema centralizado de monitoreo se selecciona el microcontrolador ESP32-S3 como unidad de adquisición, procesamiento y comunicación entre la tarjeta electrónica del equipo monitoreado y la plataforma web. Este dispositivo pertenece a la familia ESP32 y está orientado al desarrollo de sistemas embebidos y aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), integrando capacidad de procesamiento, conectividad inalámbrica y diferentes interfaces de comunicación en un único dispositivo.

La selección del ESP32-S3 se realiza considerando los requerimientos técnicos establecidos para la arquitectura propuesta, principalmente la necesidad de adquirir información desde la electrónica de control de la cafetera, procesar estados y eventos de falla y transmitir posteriormente estos datos mediante una red Wi-Fi hacia una plataforma de supervisión remota.

Como parte del proceso de selección se consideran otras plataformas utilizadas habitualmente en sistemas embebidos, tales como Arduino UNO y ESP8266. Arduino UNO permite desarrollar aplicaciones de adquisición y control; sin embargo, no incorpora conectividad Wi-Fi de forma nativa, por lo que requiere hardware adicional para establecer comunicación inalámbrica. Por su parte, el ESP8266 incorpora conectividad Wi-Fi y permite desarrollar aplicaciones IoT de baja complejidad, aunque dispone de menores recursos de procesamiento y periféricos en comparación con el ESP32-S3.

El ESP32-S3 presenta una arquitectura de 32 bits basada en un procesador Xtensa LX7 de doble núcleo, con una frecuencia de operación de hasta 240 MHz. Asimismo, incorpora conectividad Wi-Fi de 2,4 GHz y Bluetooth Low Energy (BLE), además de memoria SRAM interna y soporte para memoria externa Flash y PSRAM. Estas características proporcionan recursos suficientes para ejecutar las tareas previstas en el diseño, tales como adquisición de información, evaluación de estados, conteo de ocurrencias de fallas y comunicación con la plataforma web.

Desde el punto de vista de la integración electrónica, el ESP32-S3 dispone de distintos periféricos de comunicación y adquisición, entre los que se encuentran interfaces I²C, SPI y UART, convertidores analógico-digitales (ADC), modulación PWM y USB. Esta disponibilidad de periféricos permite considerar diferentes alternativas de integración dependiendo de las características eléctricas y protocolos utilizados por el equipo que se desea monitorear.

2.3.1 Integración del ESP32-S3 con las variables de la cafetera

Para el presente diseño se utiliza la cafetera automática como equipo de referencia. Esta incorpora sensores destinados a supervisar variables relevantes para su operación, específicamente temperatura, presión y caudal volumétrico. Las señales generadas por estos elementos no presentan una naturaleza eléctrica uniforme.

El sensor de temperatura corresponde a un termistor NTC, cuya respuesta es de naturaleza analógica y resistiva, debido a que su resistencia eléctrica varía en función de la temperatura. El sensor de presión considerado corresponde a un Huba Control TYP 505, con rango de medición de 0 a 4 bar, cuya información se obtiene mediante una señal analógica de tensión proporcional a la presión. Por otra parte, el caudal volumétrico es obtenido mediante un flujómetro basado en efecto Hall, cuya salida es de naturaleza digital y está constituida por pulsos eléctricos, cuya cantidad o frecuencia se relaciona con el desplazamiento de agua.

Debido a estas diferencias, el diseño no considera la conexión directa de los tres sensores a los terminales del ESP32-S3. La adquisición primaria y el acondicionamiento de las señales se mantienen en la tarjeta electrónica de control de la cafetera, debido a que esta se encuentra diseñada para interpretar las características eléctricas particulares de cada sensor. De esta

manera, la tarjeta convierte las señales provenientes de los sensores en variables y estados utilizables por su sistema electrónico de control.

Esta arquitectura permite resolver la integración de señales de distinta naturaleza sin requerir que el ESP32-S3 realice directamente la conversión de la señal resistiva del NTC, la adquisición de la tensión analógica del transmisor de presión y el conteo de los pulsos provenientes del flujómetro. En el diseño propuesto, el ESP32-S3 obtiene la información previamente procesada por la tarjeta electrónica de la cafetera, en lugar de adquirir directamente las señales eléctricas originales de cada sensor.

Para establecer esta transferencia de información se propone utilizar una interfaz de comunicación I²C (Inter-Integrated Circuit) entre la tarjeta electrónica y el ESP32-S3. Este protocolo utiliza principalmente dos líneas de comunicación: SDA (Serial Data), destinada al intercambio de datos, y SCL (Serial Clock), encargada de proporcionar la señal de sincronización. Mediante esta interfaz se plantea obtener las variables de proceso, estados de funcionamiento y códigos de error que la tarjeta electrónica tenga disponibles para comunicación.

Una vez adquirida la información mediante I2C, el diseño establece que el ESP32-S3 deberá ejecutar el procesamiento lógico asociado al sistema de monitoreo. Esta etapa contempla la identificación del estado de funcionamiento de la cafetera, clasificación de eventos de falla y conteo de las ocurrencias asociadas a un mismo error. Cuando una misma condición de falla alcance el criterio establecido de ocho ocurrencias, el sistema deberá generar una condición de alarma crítica destinada a indicar el requerimiento de atención técnica.

Posteriormente, el ESP32-S3 utilizará su interfaz Wi-Fi para transmitir la información procesada hacia el servidor web. En esta etapa se contempla el envío de variables, estados, códigos de error y cantidad de ocurrencias necesarias para mantener actualizado el sistema centralizado de monitoreo. El servidor será responsable del registro de los eventos, mientras que la interfaz web permitirá visualizar el estado operativo de la cafetera y las alarmas asociadas.

Desde el punto de vista funcional, la arquitectura propuesta puede resumirse mediante la siguiente cadena de información:

Sensores de la cafetera → Tarjeta electrónica de control → Procesamiento de señales → Comunicación I²C → ESP32-S3 → Evaluación y conteo de fallas → Comunicación Wi-Fi → Servidor web → Interfaz de monitoreo y alarmas.

La utilización del ESP32-S3 permite, por lo tanto, separar la adquisición primaria de las señales de campo, realizada por la electrónica propia de la cafetera, de las funciones adicionales de supervisión, procesamiento de fallas y comunicación remota consideradas en el proyecto. Esta separación permite conservar la arquitectura electrónica original del equipo y desarrollar una capa adicional de monitoreo sin plantear modificaciones directas sobre los sensores instalados.

Finalmente, la selección del ESP32-S3 proporciona una arquitectura con capacidad de expansión. Si bien el diseño desarrollado utiliza la cafetera automática como equipo de referencia, la metodología puede ser adaptada posteriormente a hornos automatizados, lavavajillas industriales u otros equipos gastronómicos, siempre que previamente se determine la naturaleza de sus señales, protocolos de comunicación, niveles eléctricos y disponibilidad de información en sus respectivas tarjetas electrónicas de control.

2.3.2 Adquisición de variables

Tabla resumen de las variables monitoreadas en los equipos gastronómicos estas se muestran en la tabla 2-1.

Tabla 2-1. Variables y características generales de los sensores considerados.

Variable	Sensor	Tipo de sensor/señal	Magnitud eléctrica	Característica de salida	Adquisición propuesta
Temperatura	Termistor NTC (EST 750 mm)	Analógico	Resistencia / tensión	La resistencia del NTC disminuye al aumentar la temperatura. La tarjeta utiliza esta variación para obtener una señal de tensión asociada a la temperatura.	Tarjeta de control → PC → ESP32-S3

Presión	Huba Control TYP 505	Analógico	Voltaje	Según la variante, puede entregar una salida analógica ratiométrica; existen versiones de 0,5–3,5 V.	Tarjeta de control → PC → ESP32-S3
Caudal volumétrico	Flujómetro con efecto Hall	Digital	Pulsos de voltaje	Genera pulsos digitales debido al giro de la turbina. La cantidad/frecuencia de pulsos permite determinar el volumen o caudal de agua.	Tarjeta de control → PC → ESP32-S3

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3 Integración de señales provenientes de los equipos

Los equipos gastronómicos considerados en este proyecto, tales como cafeteras automáticas, hornos industriales y lavavajillas, incorporan sensores encargados de supervisar variables de operación como temperatura, presión y corriente eléctrica. Estos sensores generan señales eléctricas que pueden ser de naturaleza analógica o digital, dependiendo del fabricante y del tipo de variable monitoreada.

Por tratarse de una propuesta de diseño y no de una implementación física, posteriormente se necesita identificar las direcciones de los dispositivos presentes en el bus, la estructura de los registros o tramas de información y las condiciones eléctricas de la interfaz proporcionada por la tarjeta electrónica. En caso de existir diferencias entre los niveles eléctricos utilizados por la tarjeta y los admitidos por el ESP32-S3, deberá considerarse una etapa de adaptación de niveles de tensión o una interfaz electrónica compatible, con el propósito de proteger los dispositivos y garantizar una comunicación adecuada. Por ejemplo, si una tarjeta electrónica opera con señales de 5 V y el ESP32-S3 trabaja con niveles de 3,3 V, será necesario incorporar un conversor de voltaje (Level Shifter) que permita adecuar las señales y garantizar una comunicación segura entre ambos dispositivos.

El microcontrolador ESP32-S3 será programado mediante el lenguaje C/C++ utilizando el entorno de desarrollo Arduino IDE, permitiendo la adquisición y procesamiento de los datos provenientes de los equipos monitoreados.

Asimismo, si los equipos utilizan protocolos de comunicación diferentes a los soportados directamente por el ESP32-S3, el diseño considera la posibilidad de incorporar módulos adaptadores de interfaz, tales como conversores RS-232, RS-485 o CAN Bus, según los requerimientos del fabricante y del equipo a integrar.

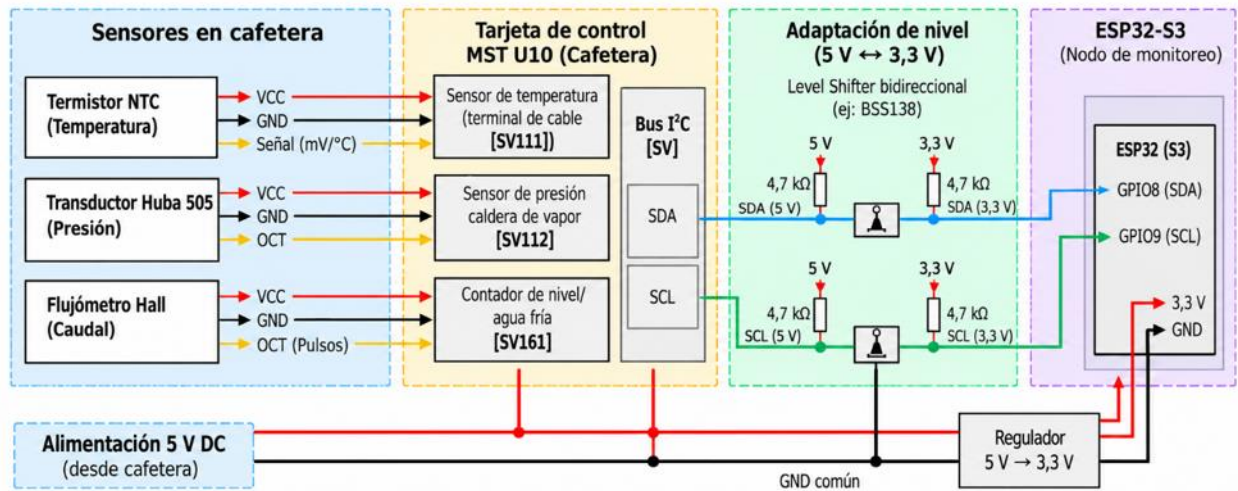
De esta forma, la arquitectura propuesta posee la flexibilidad necesaria para adaptarse a distintos tipos de equipos y protocolos de comunicación, facilitando una futura implementación del sistema de monitoreo remoto.

Como se muestra en la Tabla 2-2, se presentan las características de las señales y las interfaces de comunicación consideradas para la integración del ESP32-S3 en el sistema propuesto, así como también en la figura 2-4 se muestra el esquema de conexión propuesto para la cafetera.

Tabla 2-2. Señales, protocolos y adaptación al ESP32-S3.

Variable / interfaz	Elemento	Tipo de señal	Característica eléctrica	Interfaz / adaptación
Temperatura	Termistor NTC (EST 750 mm)	Analógica resistiva	Variación de resistencia	Tarjeta de control → I ² C → ESP32-S3
Presión	Huba Control TYP 505	Analógica de tensión	0–4 bar; salida proporcional	Tarjeta de control → I ² C → ESP32-S3
Caudal volumétrico	Flujómetro efecto Hall	Digital por pulsos	Pulsos de tensión	Tarjeta de control → I ² C → ESP32-S3
I ² C	Tarjeta ↔ ESP32-S3	Digital síncrona	SDA / SCL	Adaptación de nivel si se requiere
Wi-Fi	ESP32-S3 ↔ servidor web	Digital inalámbrica	2,4 GHz	Transmisión hacia plataforma web

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia basada en IA.

Figura 2-4. Esquema de conexión propuesto para la cafetera.

2.4 PÁGINA WEB DEL SISTEMA DE MONITOREO

La plataforma web constituye uno de los componentes fundamentales de la solución propuesta, ya que permite visualizar en tiempo real el estado operativo de los equipos y gestionar alarmas preventivas asociadas a posibles fallas. Su diseño se basa en principios similares a los de una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) industrial, pero implementada en un navegador web estándar, facilitando el acceso remoto y la supervisión desde diferentes dispositivos.

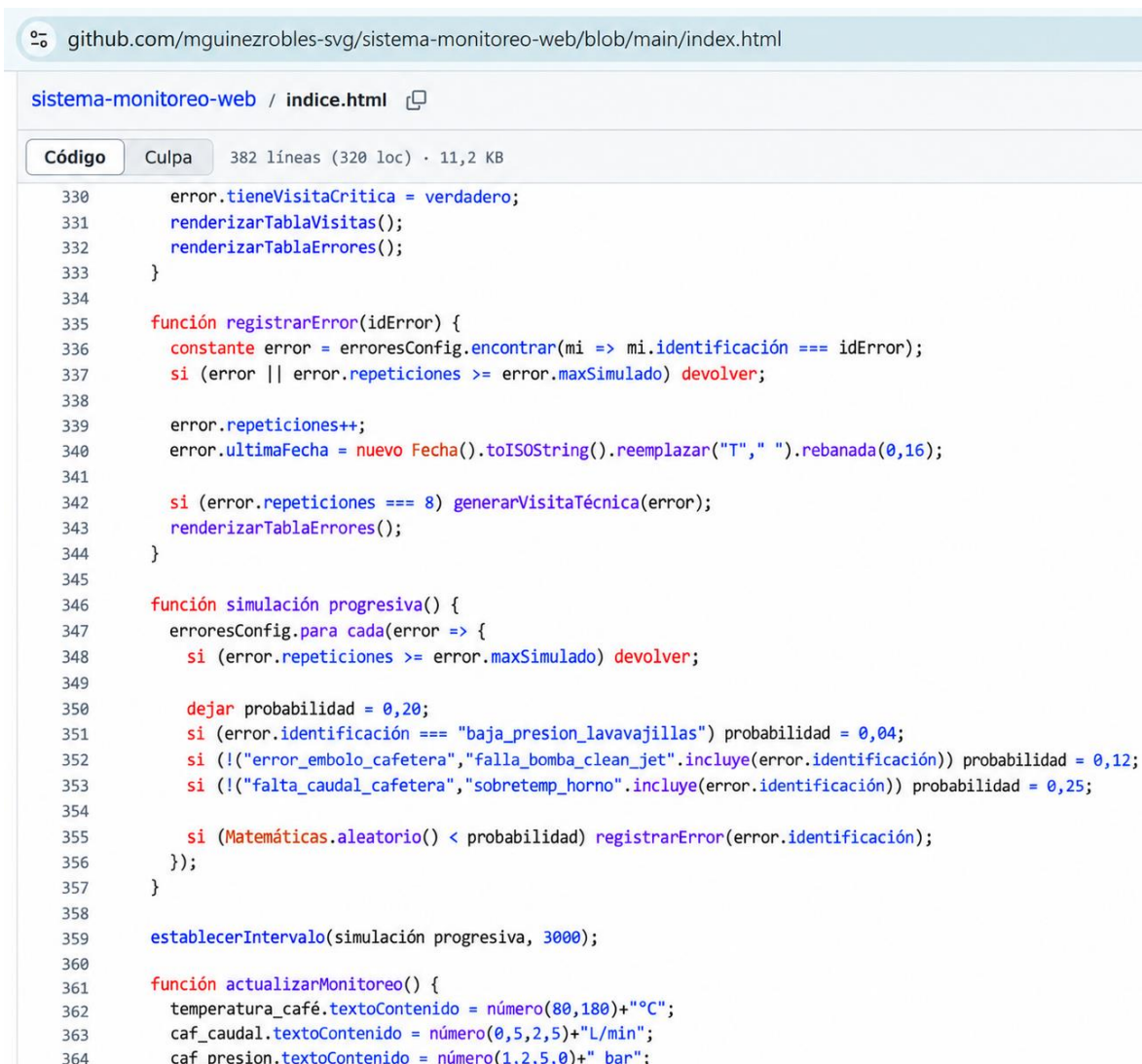
La plataforma se diseñó para presentar una tasa de actualización aproximada de 1 a 2 segundos, determinada por la ejecución periódica de funciones desarrolladas en JavaScript, las cuales simulan la recepción de datos provenientes del sistema de monitoreo. Esta frecuencia de actualización permite visualizar cambios en tiempo casi real, siendo adecuada para aplicaciones de supervisión y monitoreo remoto donde no se requiere adquisición de datos a alta velocidad.

2.4.1 Lenguaje de programación utilizado

La página fue diseñada considerando el uso de:

- HTML5: estructura del contenido.
- CSS3: diseño, colores, estilos visuales y formato del panel.
- JavaScript: lógica de actualización de datos, simulación del comportamiento y visualización dinámica.

Como se muestra en la Figura 2-5, se presenta el código desarrollado para la configuración y funcionamiento de la plataforma web del sistema de monitoreo



```

330     error.tieneVisitaCritica = verdadero;
331     renderizarTablaVisitas();
332     renderizarTablaErrores();
333 }
334
335 función registrarError(idError) {
336     constante error = erroresConfig.encontrar(mi => mi.identificación === idError);
337     si (error || error.repeticiones >= error.maxSimulado) devolver;
338
339     error.repeticiones++;
340     error.ultimaFecha = nuevo Fecha().toISOString().reemplazar("T", " ").rebanada(0,16);
341
342     si (error.repeticiones === 8) generarVisitaTécnica(error);
343     renderizarTablaErrores();
344 }
345
346 función simulación progresiva() {
347     erroresConfig.para cada(error => {
348         si (error.repeticiones >= error.maxSimulado) devolver;
349
350         dejar probabilidad = 0,20;
351         si (error.identificación === "baja_presion_lavavajillas") probabilidad = 0,04;
352         si (!("error_embolo_cafetera", "falla_bomba_clean_jet".incluye(error.identificación)) probabilidad = 0,12;
353         si (!("falta_caudal_cafetera", "sobretemp_horno".incluye(error.identificación)) probabilidad = 0,25;
354
355         si (Matemáticas.aleatorio() < probabilidad) registrarError(error.identificación);
356     });
357 }
358
359 establecerIntervalo(simulación progresiva, 3000);
360
361 función actualizarMonitoreo() {
362     temperatura_café.textoContenido = número(80,180)+"°C";
363     caf_caudal.textoContenido = número(0,5,2,5)+"L/min";
364     caf_presion.textoContenido = número(1,2,5,0)+" bar";

```

Fuente: <https://github.com/mguinezrobles-svg/sistema-monitoreo-web/tree/main>

Figura 2-5. Página Github con código en JavaScript.

Definición breve de los lenguajes

- HTML(HyperText Markup Language)

Es el lenguaje base de toda página web. Permite estructurar textos, imágenes, botones y elementos visibles en el navegador.

- CSS(Cascading Style Sheets)

Define el estilo visual del sitio: colores, fuentes, bordes, tamaños, posicionamiento de las tarjetas y paneles.

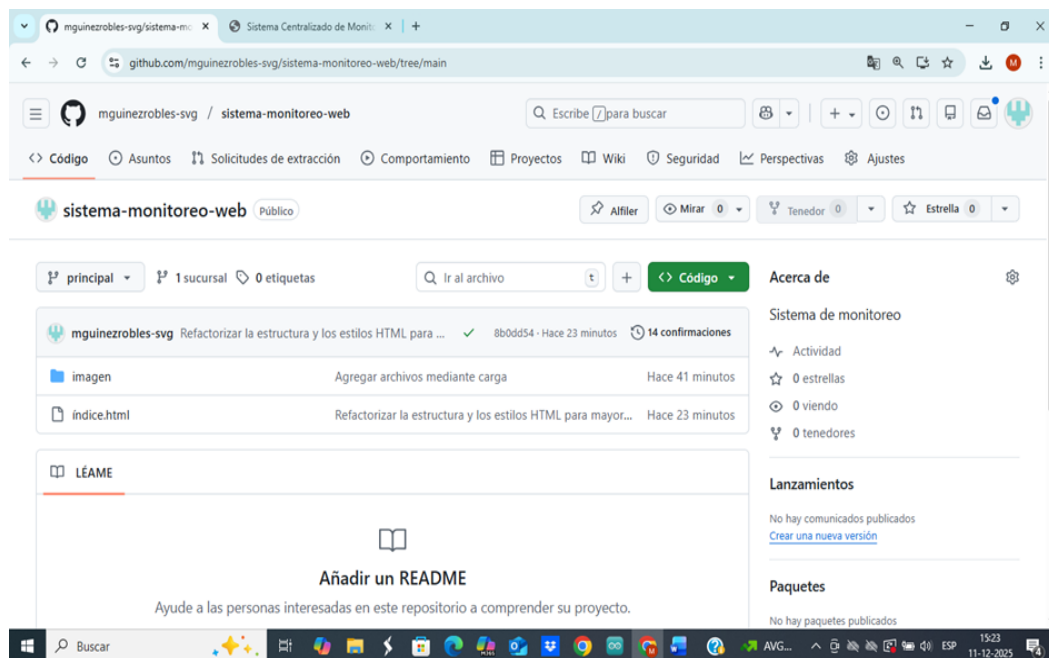
- JavaScript

Lenguaje de programación orientado al comportamiento y dinamismo en la web.

La plataforma fue diseñada para simular datos provenientes del ESP32, actualiza los estados de los equipos, cambia colores según criticidad, genera contadores de fallas, activa alarmas visuales.

2.4.2 Estructura del sitio web

En la figura 2-6 se puede visualizar la página Github en la cual fue creada la página web.



Fuente: <https://github.com/mguinezrobles-svg/sistema-monitoreo-web/tree/main>

Figura 2-6. Página Github.

La plataforma está compuesta por los siguientes módulos:

- Panel principal de equipos

Tarjetas individuales que muestran:

- nombre del equipo,
- cantidad de fallas registradas,
- estado actual (OK, Advertencia o Crítico).

- Módulo de imágenes

Se reserva espacio para incorporar posteriormente imágenes del sistema real, como el logo corporativo de Marsol, el equipo técnico y fotografías del prototipo.

- Simulador de comportamiento

Creado en JavaScript, este módulo replica cómo respondería el sistema ante valores operacionales fuera de rango:

- simula la acumulación de errores,
- limita el número de equipos críticos simultáneos,
- refleja cambios en el panel de manera instantánea.

Esta interfaz funciona como una representación visual del sistema que se implementaría en un entorno real de monitoreo.

Esta arquitectura modular permite representar de manera simplificada el funcionamiento del sistema propuesto, facilitando la visualización del comportamiento de los equipos y la generación de alarmas ante posibles fallas. Asimismo, la plataforma constituye una base para futuras implementaciones, pudiendo incorporar nuevas funcionalidades, protocolos de comunicación y mecanismos de almacenamiento de datos según los requerimientos operacionales de la empresa Marsol.

En la figura 2-7 se observa un segmento de la página web en donde se ven los sensores de cada equipo y su simulacion en tiempo real.



Fuente: <https://mguinezroble-sv.github.io/sistema-monitoreo-web/>

Figura 2-7. Simulación monitoreo en tiempo real.

2.5 LÓGICAS DE ALARMAS PROPUESTAS

La lógica de alarmas propuesta permite evaluar los eventos de falla registrados durante el monitoreo y determinar su nivel de criticidad según su frecuencia de ocurrencia. Para ello, el sistema considera criterios de conteo y clasificación que permiten diferenciar condiciones normales, advertencias y estados críticos, facilitando la identificación de fallas recurrentes y la generación oportuna de avisos para intervención técnica.

2.5.1 Procesamiento y detección de fallas repetitivas

Se propone implementar en el ESP32 una lógica de conteo automático de errores. Cada vez que una variable supera un umbral predefinido, se incrementa un contador asociado a ese tipo de falla.

Ejemplo:

- Error de sobret temperatura
- Error de presión baja
- Error de consumo anómalo
- Error específico del equipo (por ejemplo, “error de embololo” en cafeteras)

Cuando la repetición alcanza un valor crítico (ejemplo pág. 14) el ESP32 notifica al servidor que el equipo requiere intervención técnica inmediata, evitando daños como los descritos en el caso de la cafetera Melitta.

La lógica del sistema sigue un modelo de clasificación basado en umbrales:

- 0–3 repeticiones: estado normal.
- 4–7 repeticiones: advertencia.
- 8 repeticiones: alarma crítica.

Los umbrales de clasificación fueron definidos como criterios de diseño para discriminar entre eventos esporádicos y fallas recurrentes. Se considera que hasta tres repeticiones corresponden a eventos ocasionales de operación. Entre cuatro y siete repeticiones existe una tendencia de degradación que justifica una advertencia preventiva. A partir de ocho repeticiones se establece una condición crítica que requiere intervención técnica, debido a la alta probabilidad de evolución hacia una falla mayor.

Este diseño se inspira en el análisis realizado en el Capítulo 1 sobre cómo fallas pequeñas no notificadas pueden escalar rápidamente hasta provocar daños importantes en los equipos.

El sistema también incluye una restricción para evitar saturación del panel:

- Máximo de dos equipos simultáneamente en estado crítico.

Esto permite priorizar atención técnica y evitar que múltiples alarmas compitan entre sí.

En la figura 2-8 se observa simulación de alarmas y visitas técnicas en tiempo real.

Alarmas del sistema

Último evento	Equipo	Variable	Error	Repeticiones	Criticidad
2026-09-16 03:06	Cafetera Melitta – Copec	Caudal volumétrico	Falta de caudal de agua detectada por el flujómetro.	8	Alta
2026-09-16 03:06	Cafetera Melitta – Copec	Presión	Error de émbolo en grupo de café.	3	Media
2026-09-16 03:05	Horno Rational – Jumbo	Temperatura	Sobrettemperatura en cámara de cocción.	5	Media
2026-09-16 03:05	Horno Rational – Jumbo	Bomba Clean Jet	Falla bomba Clean Jet en sistema de lavado.	3	Media
2026-09-16 03:05	Lavavajillas – Just Burger	Presión	Presión baja en línea de agua caliente.	1	Baja

Visitas Técnicas Generadas

Fecha	Equipo	Motivo	Estado
2026-09-16 03:06	Cafetera Melitta – Copec	Se genera visita técnica debido a múltiples fallas: Falta de caudal de agua detectada por el flujómetro.	Pendiente

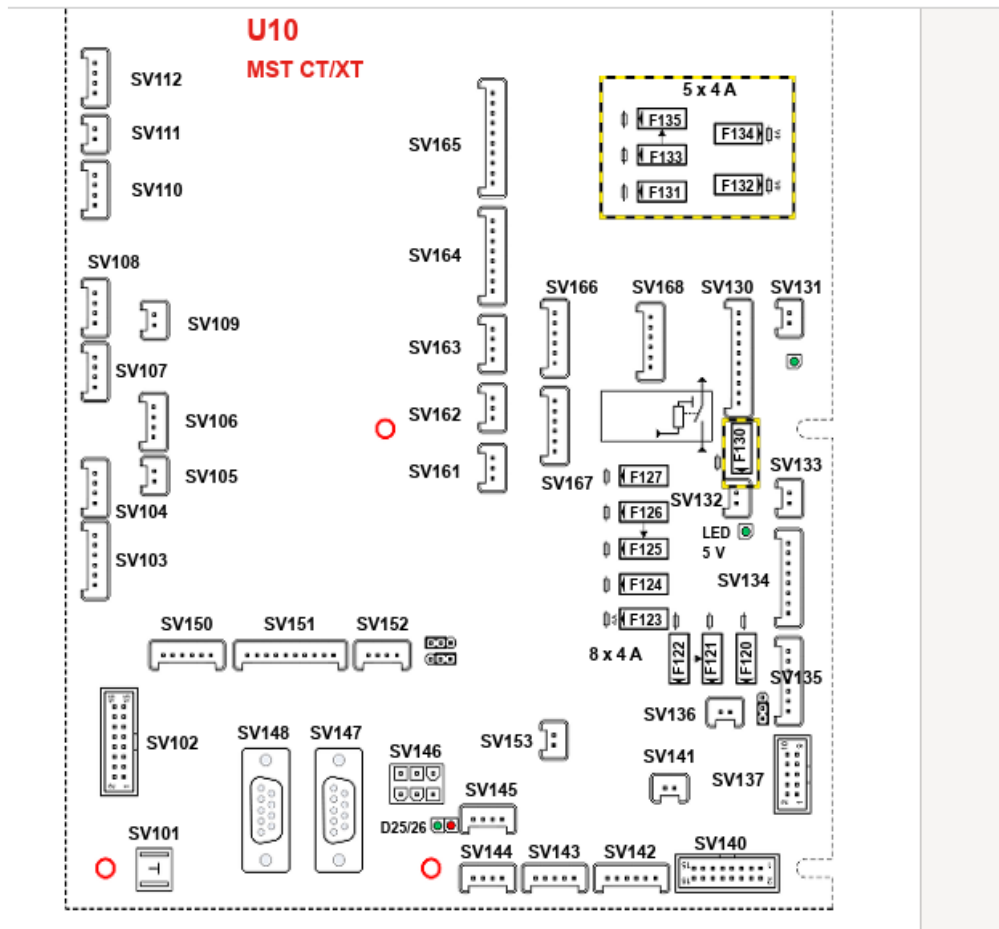
Fuente: <https://mguinezrobles-svg.github.io/sistema-monitoreo-web/>

Figura 2-8. Simulación de página web en tiempo real.

2.6 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN I²C ENTRE LA TARJETA DE CONTROL Y EL ESP32-S3

Para la adquisición de información desde la cafetera automática se considera la utilización del bus I²C disponible en la tarjeta de control MST U10. De acuerdo con el manual de servicio de la Melitta Cafina XT6/XT7, esta tarjeta dispone de los conectores SV144 y SV145 destinados al Bus I²C. En el diseño propuesto, esta interfaz permitirá establecer la comunicación con el ESP32-S3, considerando una etapa de adaptación eléctrica en caso de existir diferencias en los niveles de tensión entre ambos dispositivos. La definición del pinout, direccionamiento y configuración física de la comunicación queda fuera del alcance del proyecto, debido a que este corresponde al diseño conceptual del sistema y no a su implementación.

La figura 2-9 muestra la Identificación del Bus I²C en la tarjeta de control MST U10 de la cafetera Melitta.



Fuente: Melitta Professional Coffee Solutions, Manual de Servicio Cafina XT6.

Figura 2-9. Disposición de conectores en manual técnico.

La figura 2-10 muestra la comprobación de asignación de conectores del Bus I²C en la tarjeta de control MST U10 de la cafetera Melitta.

	de care	
SV112	Sensor de presión caldera de vapor	SV164 Evaluación seguridad
		SV165 Instantáneo
		SV166 Sensor incremental molinillos
SV120	Ajuste mecanismo de molido	SV167 Señales Input
SV121	Válvulas bloque de válvulas de agua fría	SV168 Sensor incremental unidad de hervido
SV122	Válvulas bloque de válvulas de agua caliente	
SV123	Válvulas bloque calentador de vapor	LED verde 5 V
SV124	Motor bomba de aire leche	D25 verde RS-232 TX
SV125	Motores instantáneo	D26 rojo RS-232 RX
SV126	Motor bomba de aire SCP	
		F120 - (para uso posterior: sistemas de cálculo)
		F121 - M65
SV130	Motor carro	F122 - M61
SV131	Motor ajuste de altura de salida	F123 - M80, Y31, Y11, Y32, Y71, Y72, Y74
SV132	24 V conectado	F124 - Y50, Y51, Y70, Y73
SV133	5 V conectado	F125 - M21, M23, Y91
SV134	24 V de fuente de alimentación U20	F126 - Y16, Y12, Y10, Y30, Y33, Y36
SV135	Señales de fuente de alimentación U20	F127 - U30, M65 (0...5 V), B51, H21, H22, H31, D51,
SV136	Bomba de leche revoluciones nominales	D50, S50 (... S52), D10
SV137	Conexión SV400	F130 - F135 = Alimentación a través del relé de la cadena de seguridad.
SV140	Pantalla iluminación	F130 - nc
SV141	Iluminación despacho	F131 - M10
SV142	Iluminación mesa de tazas	F132 - nc
SV143	Reserva (LED RGBA)	F133 - Y15, Y14, Y18, Y37, Y34, Y35, Y92
SV144	Bus I2C	F134 - M42, M41, M40, M70
SV145	Bus I2C	F135 - Y90, Y35

Melitta Cafina XT6/XT7 Manual de servicio V1.0

5-7

Fuente: Melitta Professional Coffee Solutions, Manual de Servicio Cafina XT6.

Figura 2-10. Asignación de conectores manual técnico.

2.6.1 Topología de red y conexión a Internet

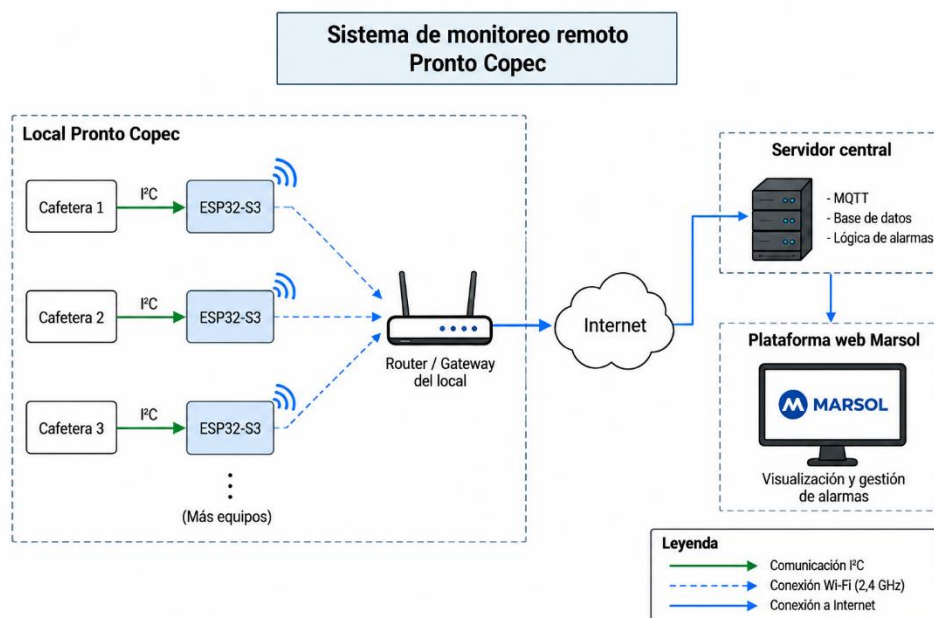
Para el sistema propuesto se considera una topología estrella inalámbrica, en la cual cada cafetera dispondría de un nodo ESP32-S3 encargado de adquirir la información proveniente de la tarjeta de control mediante comunicación I²C. Cada nodo se conectaría de forma independiente mediante Wi-Fi de 2,4 GHz al punto de acceso del establecimiento, evitando la necesidad de establecer comunicación directa entre los microcontroladores.

El router del local actuaría como gateway entre la red inalámbrica local e Internet, permitiendo que los datos obtenidos por cada ESP32-S3 sean transmitidos hacia el servidor

central mediante el protocolo MQTT. Desde el servidor, la información estaría disponible para su visualización en la plataforma web de monitoreo utilizada por el personal técnico.

La selección de una topología estrella permite ampliar el número de equipos monitoreados mediante la incorporación de nuevos nodos y proporciona independencia funcional entre ellos, de manera que la pérdida de comunicación de un ESP32-S3 no afectaría directamente a los demás nodos de monitoreo. Para una futura implementación deberá verificarse la disponibilidad de una red Wi-Fi autorizada en el establecimiento; en caso de restricciones sobre la red corporativa, se deberá considerar una red IoT segregada o un gateway dedicado con acceso a Internet.

En la figura 2-11 se observa el esquema de topología de red propuesta para la comunicación entre los equipos monitoreados, ESP32-S3, gateway e Internet.



Fuente: Creación propia basada en IA.

Figura 2-11. Diagrama de monitoreo.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo tiene como objetivo evaluar técnica y económicamente el sistema de monitoreo propuesto, considerando su implementación en equipos industriales utilizados en cadenas de comida rápida.

Se analizan las decisiones de diseño adoptadas, la integración del sistema con equipos existentes y su impacto en la operación. Además, se desarrolla una evaluación económica basada en pérdidas reales asociadas a fallas operacionales, lo que permite determinar la viabilidad del sistema desde un enfoque de ingeniería aplicada.

En la tabla 3-1 se presenta la planificación del desarrollo del sistema de monitoreo remoto, incluyendo las actividades, profesionales responsables y horas de trabajo estimadas para cada etapa.

Tabla 3-1. Carta Gantt del desarrollo del sistema de monitoreo remoto.

Actividad	Responsable	Horas	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11
Análisis de requerimientos	Ing. Control e Instrumentación Industrial	12											
Diseño de arquitectura del sistema	Ing. Control e Instrumentación Industrial	24											
Definición de comunicación I ² C	Ing. Control e Instrumentación Industrial	12											
Adquisición y procesamiento ESP32-S3	Ing. Control e Instrumentación Industrial	30											
Diseño y desarrollo de plataforma web	Ing. Control e Instrumentación Industrial	30											
Definición de lógica de alarmas y criticidad	Ing. Control e Instrumentación Industrial	16											
Integración ESP32-S3, Wi-Fi y plataforma web	Ing. Control e Instrumentación Industrial	20											
Pruebas funcionales y validación técnica	Ing. Control e Instrumentación Industrial + Técnico Automatizador	16 + 16											
Documentación, revisión y cierre	Ing. Control e Instrumentación Industrial	20											

Fuente: Creación propia en excel.

La planificación presentada en la Figura 3-1 distribuye el desarrollo del sistema en un período de 11 semanas, considerando las etapas de análisis, diseño, desarrollo, integración,

validación y documentación. Las actividades son desarrolladas principalmente por un Ingeniero en Control e Instrumentación, responsable del diseño de la arquitectura, comunicación I²C, programación del ESP32-S3, desarrollo de la plataforma web e integración del sistema.

La planificación contempla un total de 180 horas de trabajo de ingeniería, además de 16 horas de apoyo de un Técnico en Automatización durante la etapa de pruebas y validación, alcanzando un total de 196 horas profesionales. Esta distribución permite relacionar las actividades planificadas con los recursos humanos considerados posteriormente en la evaluación económica del proyecto.

3.1 **EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA**

La evaluación técnica del sistema tiene como objetivo analizar las principales características del diseño propuesto, verificando su factibilidad y capacidad de integración con equipos gastronómicos industriales

3.1.1 **Criterios de diseño**

El sistema fue desarrollado considerando los siguientes criterios técnicos:

- Compatibilidad industrial: integración con equipos existentes sin intervención invasiva
- Optimización de recursos: uso de información disponible en la placa madre
- Conectividad: transmisión remota mediante Wi-Fi
- Mantenibilidad: sistema de fácil instalación y bajo mantenimiento

3.1.2 **Estrategia de adquisición de datos**

La estrategia de adquisición de datos propuesta se basa en obtener la información disponible directamente desde la tarjeta electrónica de control de los equipos, evitando, cuando

sea técnicamente posible, la incorporación de sensores externos. De esta manera, el sistema aprovecha las variables de funcionamiento y códigos de error que ya son procesados internamente por cada equipo.

Para la cafetera automática se considera la utilización del bus I²C disponible en la tarjeta de control, mediante el cual el ESP32-S3 podrá recibir la información requerida para el monitoreo. La conexión deberá considerar las líneas de datos y reloj, además de una referencia común de tierra, incorporando adaptación de nivel de tensión cuando los niveles eléctricos de ambos dispositivos no sean compatibles.

Esta estrategia permite disminuir la intervención sobre el equipo original, reducir la cantidad de componentes adicionales y centralizar la adquisición de información en el ESP32-S3. En aquellos equipos que no dispongan de una interfaz I²C compatible, el diseño contempla evaluar la interfaz de comunicación disponible y utilizar un módulo adaptador cuando sea necesario.

3.1.3 Procesamiento y detección de fallas

El ESP32-S3 constituye la unidad de procesamiento local del sistema. Una vez adquirida la información proveniente del equipo monitoreado, el microcontrolador procesa las variables y códigos de error para determinar su estado operacional y preparar la información que posteriormente será transmitida hacia la plataforma web.

Entre las principales funciones consideradas se encuentran:

- Lectura de variables y códigos de error.
- Identificación y clasificación de eventos de falla.
- Conteo de fallas repetitivas.
- Determinación del nivel de criticidad.
- Preparación de los datos para su transmisión.
- Generación del estado operacional del equipo.

3.1.4 Comunicación del sistema

La arquitectura propuesta considera dos niveles de comunicación. El primero corresponde a la adquisición de información desde el equipo hacia el ESP32-S3 mediante la interfaz de comunicación definida para cada máquina. El segundo corresponde a la transmisión de la información procesada desde el ESP32-S3 hacia la plataforma de monitoreo mediante la conectividad Wi-Fi disponible en el local.

Para el intercambio de información con la plataforma se considera el protocolo MQTT, debido a su bajo consumo de recursos y su utilización en aplicaciones IoT. Esta arquitectura permite desacoplar la comunicación interna del equipo de la comunicación utilizada para el monitoreo remoto.

De esta forma, el sistema permite centralizar la información de los equipos, visualizar su estado operacional y generar alarmas ante la detección de eventos de falla.

3.1.5 Análisis de factibilidad técnica

Desde el punto de vista técnico, el diseño propuesto presenta factibilidad para su aplicación como sistema de monitoreo remoto, debido a que utiliza tecnologías disponibles comercialmente y compatibles con aplicaciones IoT, como el microcontrolador ESP32-S3 y la conectividad Wi-Fi. La arquitectura propuesta permite separar la adquisición de información, el procesamiento local y la transmisión hacia la plataforma web.

La principal condición para su implementación corresponde al acceso a la información disponible en las tarjetas electrónicas de los equipos y al conocimiento de sus interfaces y protocolos de comunicación. Por esta razón, la compatibilidad debe ser verificada para cada modelo antes de realizar una implementación física.

Ventajas del diseño: integración no invasiva, bajo costo de hardware, monitoreo continuo, escalabilidad y detección temprana de fallas.

Limitaciones: dependencia de Wi-Fi, dependencia del acceso a protocolos propietarios y necesidad de adaptación eléctrica o de protocolo cuando la interfaz del equipo no sea directamente compatible.

3.1.6 Indicadores técnicos de diseño

Con el propósito de establecer parámetros que permitan caracterizar técnicamente la solución propuesta, se definen indicadores asociados a la adquisición, procesamiento y transmisión de la información. Debido a que el presente proyecto corresponde al diseño del sistema y no a su implementación definitiva, los valores presentados corresponden a criterios y objetivos de diseño, los cuales deberán ser verificados experimentalmente durante una futura etapa de implementación y pruebas.

Estos indicadores permiten establecer las condiciones esperadas de funcionamiento del sistema, considerando la comunicación entre los equipos monitoreados, el ESP32-S3 y la plataforma web. En la tabla 3-2 se presentan los principales parámetros técnicos considerados para el diseño.

Tabla 3-2. Indicadores técnicos.

Indicador	Valor de diseño
Unidad de procesamiento	ESP32-S3
Adquisición de información	Desde tarjeta electrónica del equipo
Interfaz de adquisición principal	I ² C*
Medio de transmisión hacia la red	Wi-Fi 2,4 GHz
Protocolo de comunicación con plataforma	MQTT
Actualización de información	Objetivo ≤ 2 s
Procesamiento de fallas	Local mediante ESP32-S3
Generación de alarmas	Automática según eventos y repetición de fallas
Acceso al monitoreo	Remoto mediante plataforma web
Capacidad de expansión	Incorporación de nuevos nodos de monitoreo

Fuente: Elaboración propia.

Los indicadores definidos permiten establecer las condiciones técnicas esperadas para el funcionamiento del sistema. La arquitectura propuesta separa la adquisición de información desde los equipos, el procesamiento local mediante el ESP32-S3 y la transmisión de datos hacia la plataforma web. Esta estructura facilita la incorporación de nuevos nodos de monitoreo sin modificar la arquitectura general del sistema. No obstante, parámetros como el tiempo de actualización, estabilidad de la comunicación y compatibilidad con las interfaces de cada equipo deberán ser verificados mediante pruebas durante una futura etapa de implementación.

3.2 **ESTUDIO DE COSTOS DEL SISTEMA**

La evaluación económica tiene como objetivo estimar la inversión necesaria para el desarrollo del sistema de monitoreo remoto propuesto. Para ello, se consideran los costos asociados a los recursos humanos, componentes electrónicos, materiales necesarios para la integración y otros costos relacionados con el desarrollo del proyecto.

Debido a que el proyecto corresponde principalmente al diseño de una solución de ingeniería, el costo de los recursos humanos representa una parte relevante de la inversión. Las horas profesionales utilizadas en esta evaluación se encuentran directamente relacionadas con las actividades definidas en la Carta Gantt presentada anteriormente.

Para expresar los costos se utilizará la Unidad de Fomento (UF), permitiendo disponer de una unidad de referencia común para la evaluación económica. Para las conversiones a moneda nacional se considera un valor de 1 UF = \$40.787,70 CLP, correspondiente al 18 de junio de 2026.

3.2.1 **Costos de recursos humanos**

Los recursos humanos considerados corresponden a los profesionales necesarios para desarrollar las actividades técnicas definidas en la planificación del proyecto. Se considera la

participación principal de un Ingeniero en Control e Instrumentación Industrial, encargado del análisis, diseño, programación, integración y documentación del sistema, además del apoyo de un Técnico en Automatización y Control durante las actividades de pruebas y validación.

De acuerdo con la planificación establecida, se consideran 180 horas de ingeniería y 16 horas de apoyo técnico, totalizando 196 horas profesionales para el desarrollo del proyecto.

En la tabla 3-3 se observan los costos estimados de recursos humanos del proyecto.

Tabla 3-3. Costos recursos RR.HH.

Profesional	Sueldo mensual ref. (CLP)	Valor hora (CLP)	Valor hora (UF)	Horas proyecto	Total (UF)	Total (CLP)
Ing. en Control e Instrumentación	\$1.408.196	\$7.823	0,1918	180	34,525	\$1.408.196
Técnico en Automatización y Control	\$1.200.000	\$6.667	0,1634	16	2,614	\$106.667
TOTAL RR.HH.	—	—	—	196	37,139	\$1.514.863

Fuente: Elaboración propia a partir de referencias salariales de Indeed Chile y ChileTrabajos 2026.

Como se observa en la Tabla 3-2, el costo estimado de recursos humanos para el desarrollo del proyecto corresponde a 37,139 UF, equivalente a \$1.514.863 CLP. La mayor participación corresponde al Ingeniero en Control e Instrumentación, debido a su intervención durante las etapas de análisis, diseño, programación, integración y documentación. Por su parte, el Técnico en Automatización y Control participa como apoyo durante las actividades de pruebas y validación del sistema.

3.2.2 Costo de componentes y materiales

Para determinar la inversión asociada al hardware del sistema de monitoreo, se consideran únicamente los componentes necesarios para la arquitectura propuesta. Cada cafetera requiere un nodo de monitoreo basado en ESP32-S3, encargado de adquirir la

información disponible desde la tarjeta electrónica del equipo y transmitirla mediante Wi-Fi hacia la plataforma web.

El análisis se realiza inicialmente para un nodo individual y posteriormente se proyecta a las ocho cafeteras consideradas en los cuatro locales analizados. De esta manera, es posible estimar el costo de hardware asociado a una eventual implementación del sistema en la totalidad de los equipos incluidos en el estudio.

En la tabla 3-4 se observan los costos estimados de componentes y materiales para las cafeteras consideradas en el estudio.

Tabla 3-4. Costos de componentes y materiales.

Componente	Cant. por nodo	Costo unitario (CLP)	Costo unitario (UF)	Cant. 8 cafeteras	Costo total 8 cafeteras (CLP)	Costo total (UF)
ESP32-S3 DevKitC-1	1	\$12.990	0,3185	8	\$103.920	2,5478
Conversor de nivel lógico I ² C 5 V / 3,3 V	1	\$5.590	0,1371	8	\$44.720	1,0964
Fuente de alimentación 5 V / 2 A	1	\$3.290	0,0807	8	\$26.320	0,6453
Gabinete plástico para electrónica	1	\$7.990	0,1959	8	\$63.920	1,5671
Bornera de conexión	1	\$890	0,0218	8	\$7.120	0,1746
Cableado y accesorios de conexión	1	\$2.500	0,0613	8	\$20.000	0,4903
TOTAL	—	\$33.250	0,8152	8	\$266.000	6,5216

Fuente: Elaboración propia.

El costo estimado de componentes y materiales corresponde a \$33,250 CLP por cafetera (0.8152 UF). Para las ocho cafeteras consideradas en el estudio, la inversión estimada en hardware asciende a \$266,000 CLP (6.5216 UF). El valor de cableado y accesorios corresponde a una estimación de materiales menores y deberá ser actualizado mediante cotización al momento de una eventual implementación.

3.2.3 Costos de operación y mantención

Además de la inversión inicial, se consideran los costos recurrentes asociados a la operación y mantención del sistema de monitoreo. El alojamiento mediante GitHub Pages no representa un costo adicional directo. Para la conectividad a Internet se considera el uso de la infraestructura Wi-Fi ya disponible en cada local Pronto Copec, donde los nodos ESP32-S3 se conectarán al router o punto de acceso del establecimiento para transmitir la información hacia la plataforma web. Debido a que esta infraestructura forma parte de los servicios existentes del local, no se considera un costo adicional de contratación de Internet. Para una eventual implementación formal se considera además un dominio web.cl y 24 horas anuales de mantención técnica realizada por un Ingeniero en Control e Instrumentación.

En la tabla 3-5 se observan los Costos estimados de operación y mantención anual del sistema.

Tabla 3-5. Costos de operación y mantención.

Concepto	Periodicidad	Costo anual (CLP)	Costo anual (UF)
Alojamiento web mediante GitHub Pages	Anual	\$0	0,000
Dominio web .cl	Anual	\$9.990	0,245
Uso de infraestructura Wi-Fi e Internet existente en el local	Anual	\$0 adicional	0,000
Mantención técnica del sistema (24 h/año)	Anual	\$187.752	4,603
TOTAL OPERACIÓN Y MANTENCIÓN	Anual	\$197.742	4,848

Fuente: Elaboración propia.

La planificación del proyecto tiene como finalidad organizar y distribuir las actividades necesarias para el desarrollo del sistema de monitoreo propuesto. Para ello, se establecen las etapas de diseño, selección de componentes, desarrollo de la plataforma web, elaboración de diagramas y documentación técnica, definiendo tiempos y recursos que permitan cumplir los objetivos planteados de manera ordenada y eficiente.

3.2.4 Inversión estimada del proyecto

A partir de los costos de recursos humanos y de los componentes necesarios para los ocho nodos de monitoreo considerados en el estudio, se determina la inversión inicial estimada para el desarrollo e implementación del sistema. Los costos de operación y mantención no se incorporan dentro de esta inversión inicial, debido a que corresponden a gastos recurrentes asociados al funcionamiento posterior del sistema.

La tabla 3-6 presenta el resumen de la inversión requerida para el desarrollo del proyecto.

Tabla 3-6. Inversión inicial del proyecto

Concepto	Costo (CLP)	Costo (UF)
Recursos humanos	\$1.514.863	37,139
Componentes y materiales para 8 cafeteras	\$266.000	6,522
INVERSIÓN INICIAL ESTIMADA	\$1.780.863	43,661

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5 Pérdidas operacionales actuales

Para evaluar económicamente la conveniencia del sistema propuesto, es necesario comparar la inversión requerida con las pérdidas económicas asociadas a la indisponibilidad de las cafeteras. Para ello, se utilizaron los antecedentes obtenidos mediante encuestas realizadas en los locales considerados en el estudio.

Los resultados muestran diferencias entre las sucursales respecto de la pérdida económica generada por cada evento de falla. Para efectos del análisis se utiliza el valor promedio del rango informado por cada establecimiento, permitiendo establecer una base común para las estimaciones mensuales y anuales.

En la tabla 3-7 se observa la pérdida económica promedio por evento de falla.

Tabla 3-7. Pérdida económica por falla.

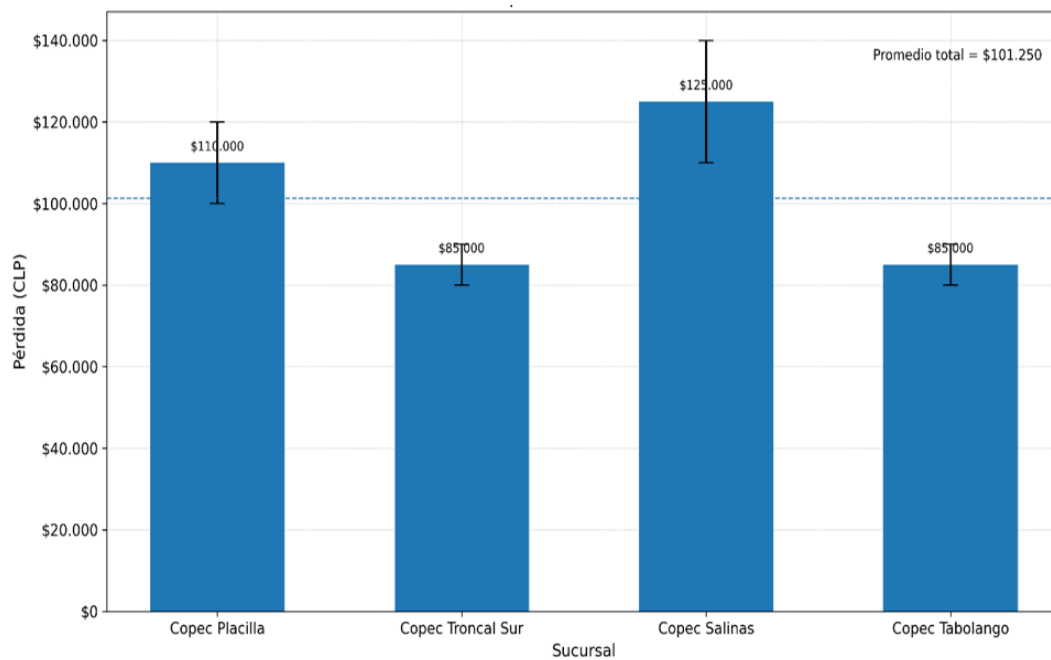
Sucursal	N.º de cafeteras	Rango informado por falla (CLP)	Pérdida promedio por falla (CLP)
Copec Placilla	3	\$100.000 – \$120.000	\$110.000
Copec Troncal Sur	2	\$80.000 – \$90.000	\$85.000
Copec Salinas	2	\$110.000 – \$140.000	\$125.000
Copec Tabolango	1	\$80.000 – \$90.000	\$85.000

TOTAL CAFETERAS ESTUDIADAS	8	—	—
-----------------------------------	----------	----------	----------

Fuente: Elaboración propia.

Los antecedentes obtenidos muestran que la pérdida económica por un evento de falla se encuentra entre \$80.000 y \$140.000 CLP, dependiendo del establecimiento. Copec Salinas presenta la mayor pérdida promedio por evento, con \$125.000, seguida por Copec Placilla con \$110.000. Estos valores constituyen la base para estimar posteriormente las pérdidas mensuales y anuales considerando la frecuencia de fallas de los equipos.

A partir de los valores obtenidos, la Figura 3-1 presenta una comparación de la pérdida económica promedio asociada a un evento de falla en cada una de las sucursales analizadas. Se observa que Copec Salinas presenta el mayor valor promedio, mientras que Troncal Sur y Tabolango registran los valores más bajos.



Fuente: Elaboración propia, a partir de encuesta aplicada el 12 de marzo

Figura 3-1. Comparación de la pérdida económica promedio por evento de falla en las sucursales analizadas.

3.2.6 Estimación de pérdidas mensuales y anuales

A partir de los antecedentes recopilados, se realiza una estimación de las pérdidas económicas mensuales y anuales asociadas a las fallas de las cafeteras. Para el cálculo se considera una frecuencia estimada de 2 a 3 eventos de falla mensuales por equipo, utilizando como referencia la pérdida promedio por evento determinada para cada sucursal.

La estimación considera las ocho cafeteras incluidas en el estudio, distribuidas entre los locales de Placilla, Troncal Sur, Salinas y Tabolango. De esta forma, se obtiene un rango de pérdida que permite dimensionar el impacto económico actual y posteriormente compararlo con la inversión requerida para el sistema de monitoreo.

En la tabla 3-8 se observa una estimación de pérdidas económicas mensuales y anuales.

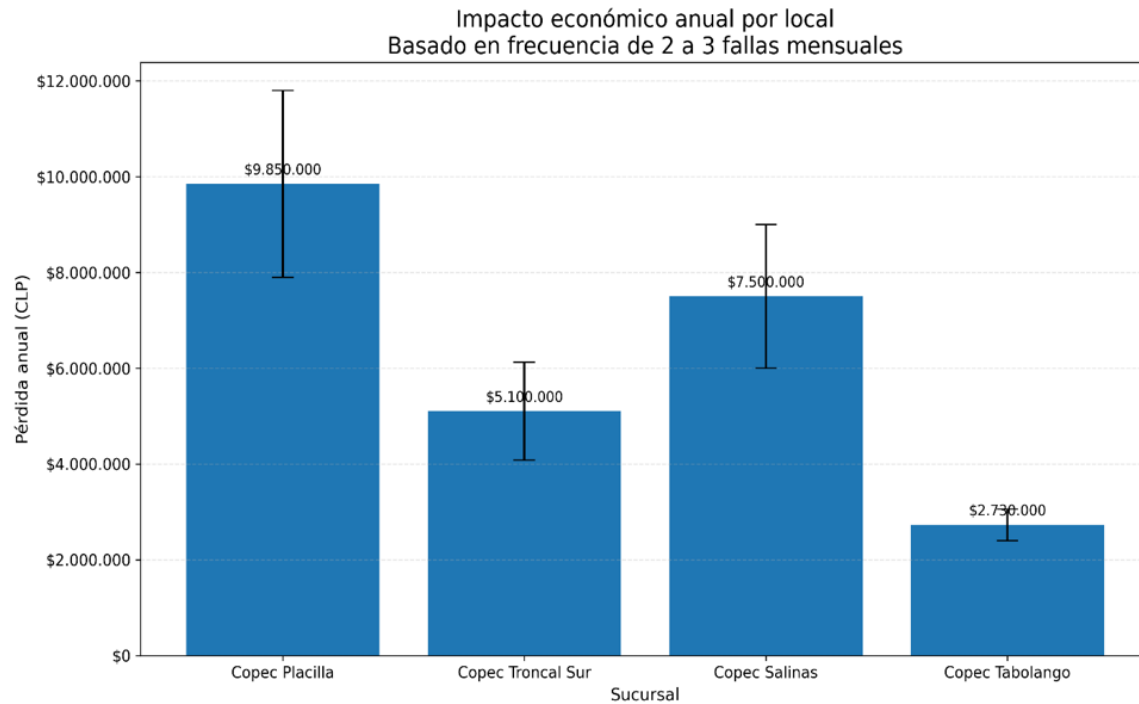
Tabla 3-8. Estimación de pérdidas mensuales y anuales

Sucursal	Cafeteras	Promedio por falla	Pérdida mensual	Pérdida anual
Copec Placilla	3	\$110.000	\$660.000 - \$990.000	\$7.920.000 - \$11.880.000
Copec Troncal Sur	2	\$85.000	\$340.000 - \$510.000	\$4.080.000 - \$6.120.000
Copec Salinas	2	\$125.000	\$500.000 - \$750.000	\$6.000.000 - \$9.000.000
Copec Tabolango	1	\$85.000	\$170.000 - \$255.000	\$2.040.000 - \$3.060.000
TOTAL	8	-	\$1.670.000 - \$2.505.000	\$20.040.000 - \$30.060.000

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que las pérdidas económicas asociadas a fallas de las ocho cafeteras analizadas podrían alcanzar entre \$1.670.000 y \$2.505.000 mensuales, equivalentes a aproximadamente \$20.040.000 a \$30.060.000 anuales. Estos valores evidencian la magnitud económica asociada a la indisponibilidad de los equipos y permiten establecer una referencia para evaluar la conveniencia económica del sistema de monitoreo propuesto.

Con el propósito de representar gráficamente el impacto económico asociado a las fallas, la Figura 3-2 presenta una comparación de las pérdidas mensuales y anuales estimadas para cada una de las sucursales analizadas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-2. Pérdidas económicas estimadas por sucursal.

3.2.7 Análisis económico del sistema propuesto

Para estimar el impacto económico potencial del sistema de monitoreo propuesto, se consideran las pérdidas operacionales anuales determinadas anteriormente para los locales analizados. Debido a que el sistema busca detectar oportunamente condiciones de falla y facilitar la planificación de las intervenciones técnicas, se establecen tres escenarios referenciales de reducción de pérdidas: 10 %, 20 % y 30 %.

Para mantener un criterio conservador, se utiliza como base el límite inferior de las pérdidas anuales estimadas en la Tabla 3-8, correspondiente a \$20.040.000 CLP anuales. A partir de este valor se determina el ahorro potencial para cada escenario.

En el escenario conservador, correspondiente a una reducción del 10 %, el ahorro potencial sería de aproximadamente \$167.000 CLP mensuales, equivalente a \$2.004.000 CLP anuales. Para el escenario intermedio, con una reducción del 20 %, el ahorro estimado alcanzaría

\$334.000 CLP mensuales y \$4.008.000 CLP anuales. Finalmente, en el escenario favorable, correspondiente a una reducción del 30 %, se estima un ahorro de aproximadamente \$501.000 CLP mensuales, equivalente a \$6.012.000 CLP anuales.

La Tabla 3-9 resume los escenarios considerados y los ahorros económicos potenciales asociados.

Tabla 3-9. Escenarios de reducción de pérdidas operacionales.

Escenario	Reducción considerada	Pérdidas evitadas por año (CLP)
Conservador	10 %	\$2.004.000
Intermedio	20 %	\$4.008.000
Favorable	30 %	\$6.012.000

Fuente: Elaboración propia.

3.2.8 Consideraciones para una futura implementación

Debido a que el presente proyecto corresponde al diseño de un sistema de monitoreo remoto y no contempla su implementación definitiva, los ahorros determinados anteriormente corresponden a estimaciones de referencia y deberán ser validados en condiciones reales de operación.

Como etapa posterior al desarrollo del diseño, se propone realizar una implementación piloto en los cuatro locales considerados en el estudio: Placilla, Troncal Sur, Salinas y Tabolango. Esta etapa permitirá evaluar el funcionamiento del sistema, verificar su capacidad para detectar oportunamente condiciones de falla y determinar la reducción efectiva de las pérdidas operacionales.

Los resultados obtenidos durante la implementación piloto permitirán disponer de información real sobre los beneficios económicos generados y los costos efectivos de operación y mantenimiento. A partir de estos antecedentes se podrá realizar posteriormente una evaluación económica más detallada y determinar la conveniencia de extender el sistema de monitoreo a otros locales comerciales.

3.3 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

La planificación del proyecto tiene como finalidad organizar las actividades necesarias para el desarrollo del diseño del sistema de monitoreo remoto. Para ello, se consideran etapas asociadas al levantamiento de requerimientos, análisis de los equipos, definición de la arquitectura, selección de componentes, diseño de las comunicaciones, desarrollo conceptual de la plataforma web y evaluación técnica y económica de la solución propuesta. La planificación se desarrolla considerando el alcance del proyecto, el cual corresponde al diseño del sistema y no a su implementación física en terreno.

3.3.1 Etapas del diseño

1. Análisis de requerimientos

En esta etapa se identifican las necesidades y restricciones asociadas al sistema de monitoreo remoto. Se analizan los equipos considerados en el proyecto, las fallas que se requiere supervisar y los requerimientos técnicos necesarios para desarrollar la solución propuesta.

2. Análisis técnico de los equipos

Se estudian las características técnicas de los equipos gastronómicos considerados, identificando las tarjetas electrónicas, señales disponibles, interfaces de comunicación y posibilidades de adquisición de información. Este análisis permite determinar las alternativas de conexión con el sistema de monitoreo.

3. Diseño de la arquitectura del sistema

En esta etapa se define la arquitectura general de la solución, considerando la relación entre los equipos monitoreados, el microcontrolador ESP32-S3, la red Wi-Fi y la plataforma web. Además, se establece el flujo de información desde la adquisición de datos hasta su visualización remota.

4. Diseño de adquisición y comunicación de datos

Se definen los métodos de adquisición de información desde los equipos y los protocolos de comunicación considerados en el diseño. Para la cafetera automática se analiza la utilización

del bus I²C disponible en su tarjeta de control, mientras que para otros equipos se consideran interfaces compatibles o módulos de adaptación cuando corresponda. También se establece la transmisión de información mediante Wi-Fi hacia la plataforma web.

5. Diseño de la plataforma de monitoreo

En esta etapa se desarrolla el diseño funcional de la plataforma web destinada a la visualización del estado de los equipos y la gestión de alarmas. Se consideran elementos como identificación del equipo, registro de eventos, clasificación de criticidad, conteo de fallas repetitivas y generación de avisos para apoyar la gestión del servicio técnico.

6. Evaluación del diseño propuesto

Finalmente, se realiza la evaluación técnica y económica de la solución diseñada. La evaluación técnica considera aspectos como compatibilidad, conectividad, escalabilidad y capacidad de monitoreo, mientras que la evaluación económica contempla los costos de componentes, recursos humanos, operación y mantención, junto con el análisis de las pérdidas operacionales y los escenarios estimados de recuperación de la inversión.

3.4 **FUTURAS MEJORAS**

A partir del diseño desarrollado, se identifican distintas mejoras y etapas posteriores que permitirían continuar con el desarrollo del sistema de monitoreo remoto propuesto. Estas actividades se encuentran fuera del alcance del presente proyecto y podrían ser abordadas en una futura etapa de implementación.

Como primera etapa, se propone realizar una implementación piloto en un local, considerando la instalación del sistema en un número limitado de cafeteras. Esta implementación permitiría validar en condiciones reales la adquisición de información desde la tarjeta electrónica del equipo, la comunicación con el ESP32-S3, la transmisión mediante Wi-Fi y la visualización de los datos en la plataforma web.

A partir de los resultados obtenidos durante el piloto, sería posible realizar ajustes al diseño y posteriormente evaluar su escalabilidad hacia un mayor número de equipos y sucursales, considerando las condiciones de conectividad y características particulares de cada instalación.

En materia de seguridad, se propone incorporar mecanismos de protección para la transmisión de información, mediante protocolos seguros y sistemas de autenticación de usuarios que permitan establecer diferentes niveles de acceso a la plataforma.

Otra mejora corresponde a la incorporación de una base de datos para el almacenamiento histórico de eventos y fallas, permitiendo realizar análisis estadísticos del comportamiento de los equipos y, en una etapa posterior, evaluar técnicas orientadas al mantenimiento predictivo.

Finalmente, se podría ampliar la compatibilidad del sistema hacia otros modelos y fabricantes de equipos gastronómicos, evaluando sus interfaces y protocolos de comunicación. Asimismo, podrían incorporarse mecanismos adicionales de notificación, como correo electrónico o aplicaciones móviles, para informar oportunamente al personal técnico ante la detección de eventos críticos.

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente proyecto permitió establecer el diseño de un sistema centralizado de monitoreo remoto orientado a equipos utilizados en cadenas de comida rápida, considerando los requerimientos técnicos, operacionales y económicos definidos durante el estudio. La solución propuesta se basa en la adquisición de información desde los equipos, su procesamiento mediante un microcontrolador ESP32-S3 y la transmisión de datos mediante conectividad Wi-Fi hacia una plataforma web de monitoreo.

Desde el punto de vista técnico, el diseño permite establecer una arquitectura capaz de centralizar la información proveniente de los equipos y generar alertas a partir de la detección y repetición de eventos de falla. Para la adquisición de información se consideraron las interfaces disponibles en las tarjetas electrónicas de los equipos, destacando para la cafetera automática el análisis del bus I²C disponible en la tarjeta de control. Esta estrategia busca aprovechar información existente en los equipos y disminuir la necesidad de incorporar sensores externos adicionales.

La plataforma web propuesta complementa la arquitectura del sistema mediante la visualización del estado de los equipos, registro de eventos y clasificación de las fallas según su nivel de criticidad. De esta manera, el diseño proporciona una herramienta orientada a facilitar la supervisión remota y apoyar la toma de decisiones del personal técnico frente a la aparición de fallas repetitivas.

El análisis de las pérdidas operacionales permitió dimensionar el impacto económico asociado a las fallas de los equipos considerados. A partir de los antecedentes recopilados en los locales estudiados y de la frecuencia estimada de fallas, se estableció una base económica para comparar las pérdidas actuales con los costos asociados al desarrollo, operación y mantención de la solución propuesta.

La evaluación económica se realizó mediante escenarios estimados de reducción de pérdidas del 10 %, 20 % y 30 %. Bajo estas condiciones, el período estimado de recuperación de la inversión corresponde aproximadamente a 11,85 meses para el escenario conservador, 5,92 meses para el escenario intermedio y 3,95 meses para el escenario favorable. Estos resultados

permiten establecer que el diseño presenta una alternativa económicamente justificable dentro de los escenarios analizados, sin representar ahorros garantizados.

Asimismo, la arquitectura propuesta presenta posibilidades de escalabilidad hacia un mayor número de equipos y sucursales. No obstante, aspectos como la compatibilidad con diferentes fabricantes, disponibilidad de interfaces de comunicación, condiciones de la red Wi-Fi y seguridad de la transmisión deberán ser considerados durante una futura implementación.

Finalmente, se concluye que los objetivos planteados para el proyecto fueron abordados mediante el desarrollo del diseño técnico y la evaluación económica del sistema de monitoreo remoto. Debido a que el alcance del proyecto corresponde al diseño y no a su implementación física, la validación del funcionamiento en condiciones reales deberá realizarse posteriormente mediante una implementación piloto. Esta etapa permitirá verificar experimentalmente la comunicación con los equipos, el comportamiento del sistema y los beneficios operacionales y económicos estimados durante el presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Espressif Systems. (2023). ESP32-S3 Series Datasheet. <https://www.espressif.com/>
- Espressif Systems. (2023). ESP-IDF Programming Guide. <https://docs.espressif.com/>
- GitHub. (2025). GitHub Pages Documentation. <https://pages.github.com/>
- JavaScript Guide. Disponible en: <https://developer.mozilla.org/>
- Guiñez Robles, M. P. (2026). Plataforma web de monitoreo en tiempo real.
- GitHub Pages. <https://mguinezrobles-svg.github.io/sistema-monitoreo-web/>
- Guiñez Robles, M. P. (2026). Repositorio del sistema de monitoreo.
- GitHub. <https://github.com/mguinezrobles-svg/sistema-monitoreo-web/>
- Indeed Chile. (2026). Sueldos de ingeniero/a de automatización en Santiago de Chile, Región Metropolitana.
- <https://cl.indeed.com/career/ingeniero-de-automatizaci%C3%B3n/salaries/Santiago-de-Chile-Regi%C3%B3n-Metropolitana>
- International Organization for Standardization. (2014).
- ISO 55000:2014, Asset management — Overview, principles and terminology.
- International Organization for Standardization. (2018).
- ISO 50001:2018, Energy management systems — Requirements with guidance for use.
- Marsol S.A. (2025). Información corporativa y servicios técnicos. <https://www.marsol.cl/>
- Mozilla Developer Network (MDN). (2024).
- CSS: Cascading Style Sheets. <https://developer.mozilla.org/>
- Mozilla Developer Network (MDN). (2024). HTML: HyperText Markup Language.
- <https://developer.mozilla.org/>
- Mozilla Developer Network (MDN). (2024). JavaScript Guide. <https://developer.mozilla.org/>
- Chiletrabajos. (2026). Oferta laboral consultada como referencia salarial para personal técnico en <https://www.chiletrabajos.cl/trabajo/3881557>